



8° H. lit. P. 332 ^{sv} (B, 9) Zapiski

662i

8 A

52i

УЧЕНЫЯ ЗАПИСКИ

ИМПЕРАТОРСКАГО

МОСКОВСКАГО УНИВЕРСИТЕТА.

ОТДѢЛЪ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКІЙ.

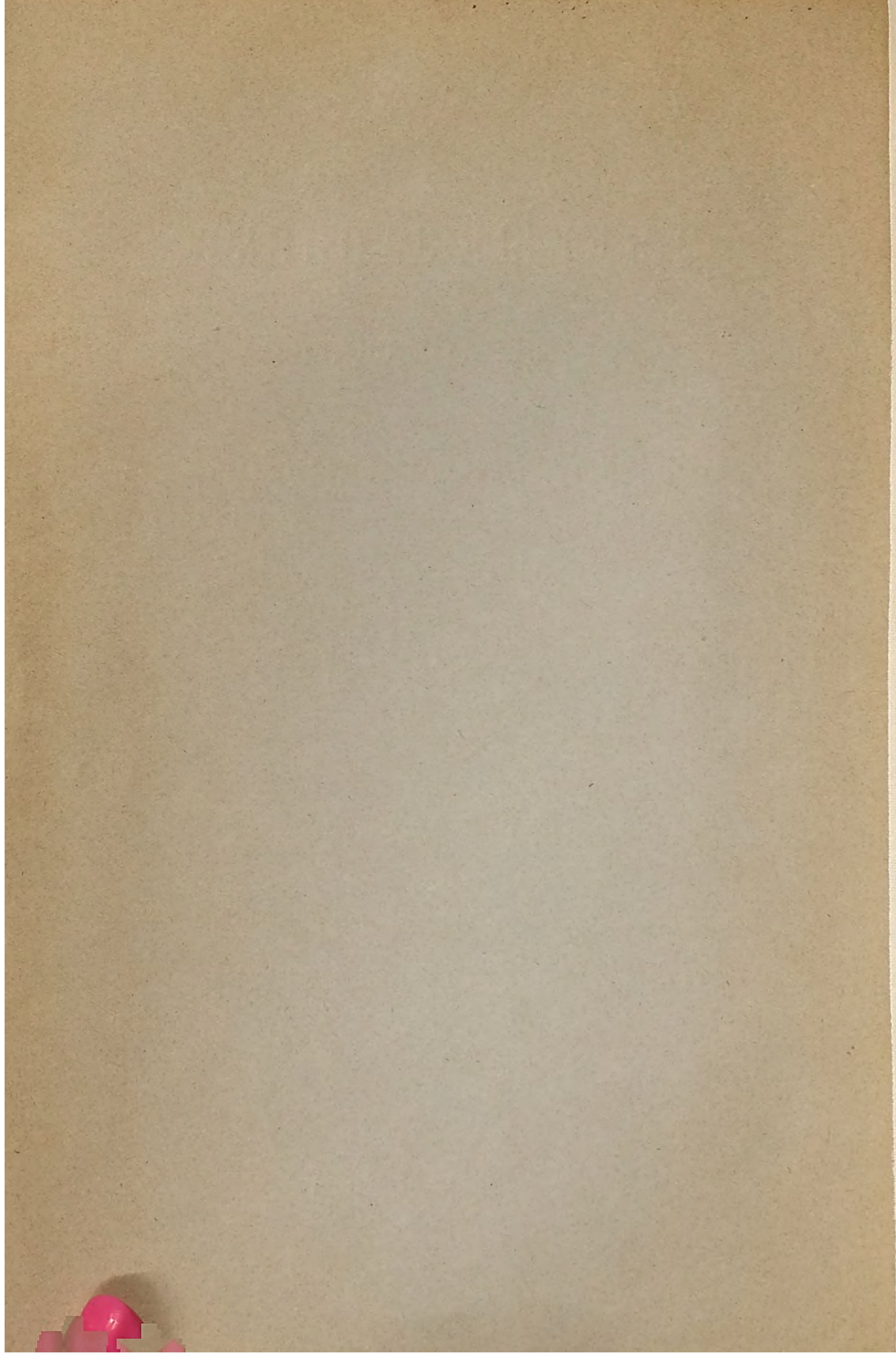
ВЫПУСКЪ ДЕВЯТЫЙ.

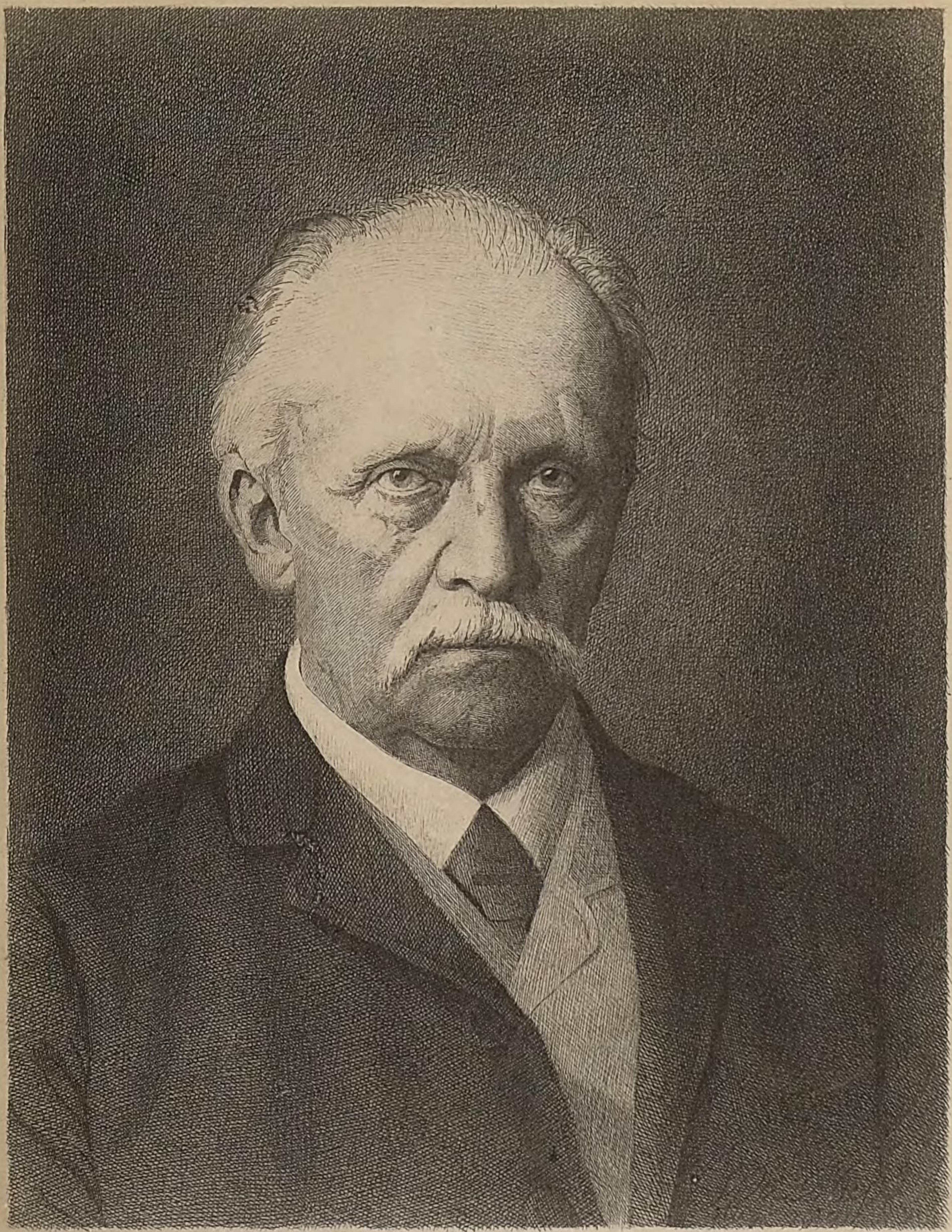
МОСКВА.

1892.

B 9-11

662





L. Jacoby fecit

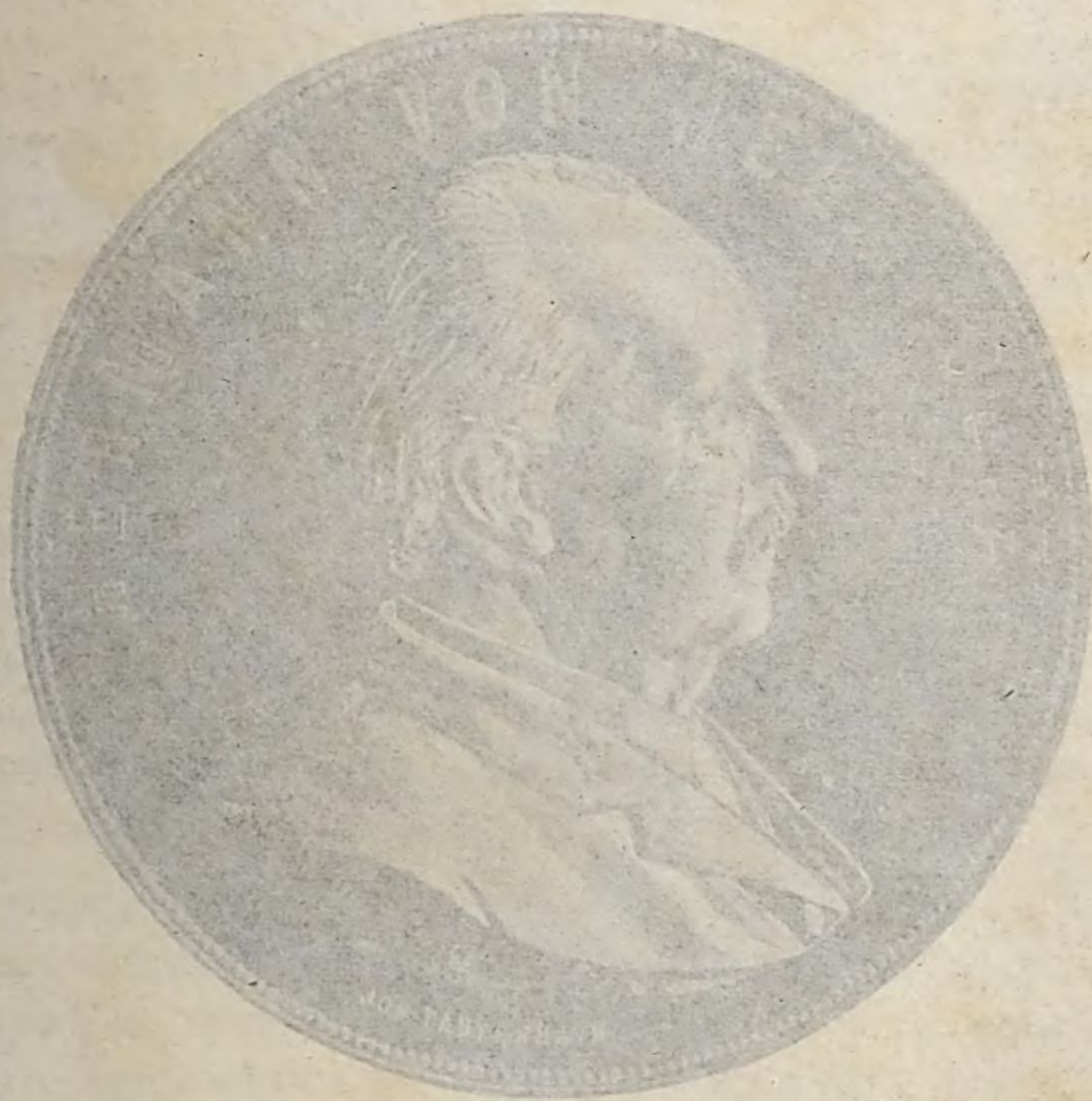
Фототипія Р. Ю. Тиле

А. в. Петровъ
1891

ГЕРМАНЪ ФОНЪ-ГЕЛЬМГОЛЬЦЪ

(1821—1891 гг.)

Публичныя лекціи, читанныя въ ИМПЕРАТОРСКОМЪ Московскомъ
Университетѣ въ пользу Гельмгольцовскаго Фонда.



Съ фототипіей и рисунками въ текстѣ.

МОСКВА.

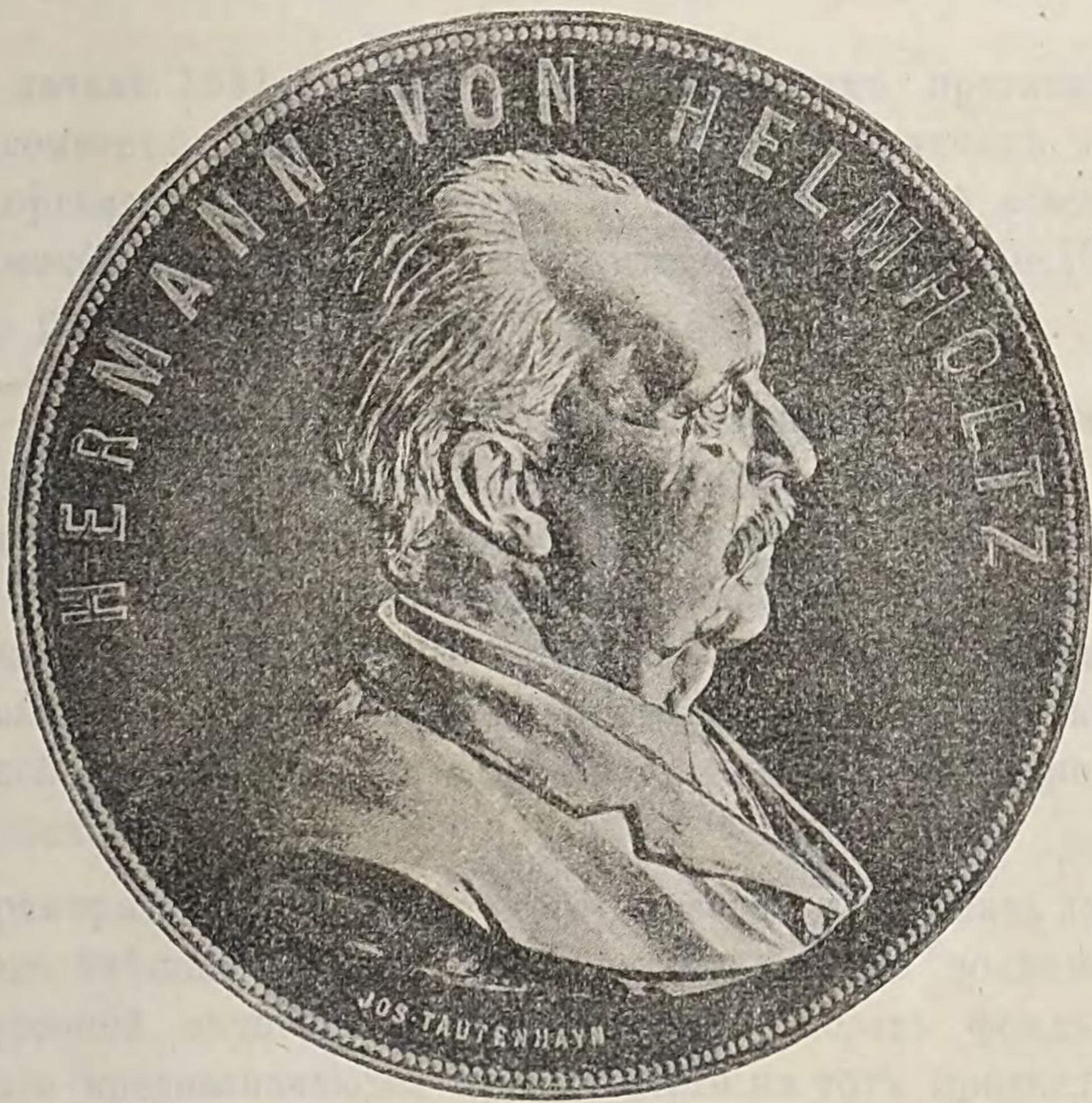
Изданіе Императорскаго Московскаго Университета.

1892.

С ГЕРМАНЪ ФОНЪ-ГЕЛЬМГОЛЬЦЪ

(1821—1891 гг.)

Публичныя лекціи, читанныя въ ИМПЕРАТОРСКОМЪ Московскомъ
Университетѣ въ пользу Гельмгольцовскаго Фонда.



Съ фототипіей и рисунками въ текстѣ.

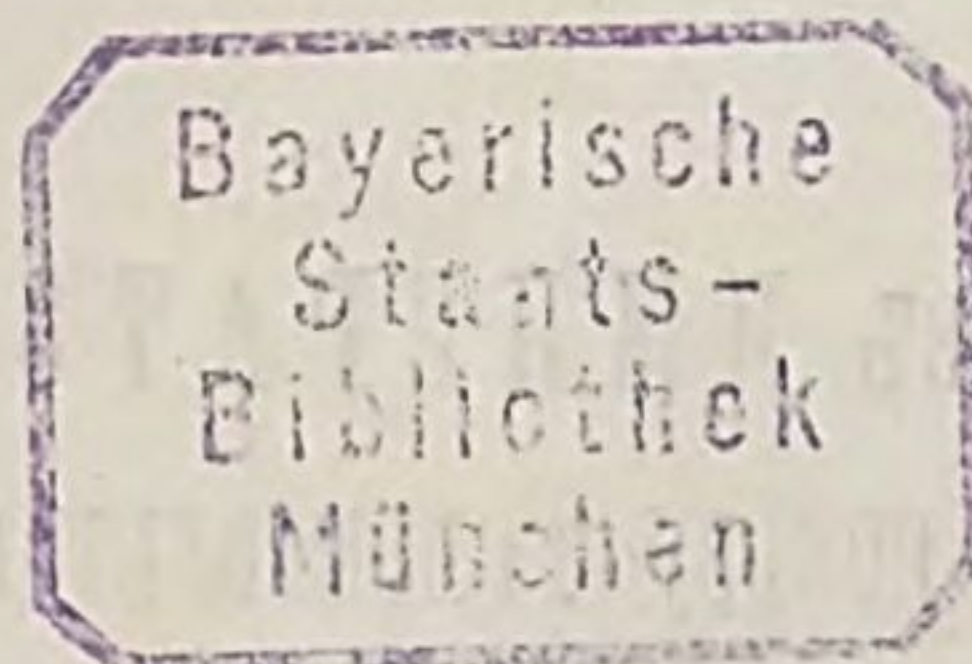
МОСКВА.

Изданіе Императорскаго Московскаго Университета.

1892.

LEHMANN'S-VERLAG

(1831-1831)



Университетская типографія, Страстной бульваръ.

1831

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Въ началѣ 1891 г., послѣ предварительныхъ приглашеній отъ лица комитета, составившагося изъ пяти берлинскихъ профессоровъ, организовался окончательный *международный комитетъ для чествованія Германа фонъ-Гельмгольца* (Comité für die Helmholtz-Feier), разославшій слѣдующее воззваніе:

«31-го августа 1891 г. исполнится семьдесятъ лѣтъ жизни *Германа фонъ-Гельмгольца*. Товарищи, друзья и почитатели великаго изслѣдователя соединились въ желаніи воспользоваться этимъ днемъ, чтобы дать прочное выраженіе той благодарности, какою весь научный, весь образованный міръ обязанъ его руководящимъ изслѣдованіямъ, его всесторонне освѣщающей и оплодотворяющей духовной работѣ, которая открываетъ и проникаетъ широкія области изысканія.

«Мраморный бюстъ чествуемаго долженъ увѣковѣчить для потомства его внѣшній образъ. Для постояннаго же воспоминанія о его духовной личности предполагается основать фондъ, доходы котораго предназначаются прежде всего на тотъ предметъ, чтобы наиболѣе выдающіеся изслѣдователи *всѣхъ націй*, работающіе въ тѣхъ отрасляхъ знанія, гдѣ подвизался Гельмгольтцъ, награждались *медалью имени Гельмгольца*. Подробности относительно изготвленія бюста, завѣдыванія фондомъ и выдачи медалей, а также предназначенія могущаго оказаться остатка, будутъ выработаны комитетомъ, подписавшимъ это воззваніе, по соглашенію съ г. фонъ-Гельмгольтцомъ.

«Мы обращаемся къ вамъ съ просьбою поддержать наше предприятие вашимъ вкладомъ и принять участіе въ его дальнѣйшей огласкѣ. 31-го августа 1891 г. мраморный бюстъ и статутъ объ учрежденіи фонда, съ именнымъ спискомъ участвовавшихъ въ предприятии, будутъ вручены г. фонъ-Гельмгольтцу.

«Вклады просимъ адресовать въ Берлинъ, на банкирскій домъ Мендельсона и К^о, не позднѣе конца апрѣля 1891 г.» ¹⁾

[Слѣдуютъ 173 подписи ученыхъ и общественныхъ дѣятелей разныхъ странъ; въ томъ числѣ изъ Россіи: Г. Вильдъ (С.-Петербургъ), К. Гелльстѣнъ (Гельсингфорсъ), П. Зиловъ (Варшава), Л. Линдѣфъ (Гельсингфорсъ), Д. Менделѣевъ (С.-Петербургъ), Э. Рельманъ (Дерптъ), А. Столѣтовъ (Москва), И. Сѣменовъ (Москва), С. Чирьевъ (Кіевъ), А. фонъ-Эттингенъ (Дерптъ)].

«Избранная комитетомъ комиссія (Ausschuss), въ которую вошли пять членовъ: Э. Дюбуа-Реймонъ, Л. Кронеккеръ, А. Кундтъ, Э. Мендельсонъ-Бартольди, Э. Целлеръ, уполномочена выработать подробности упомянутыхъ въ воззваніи опредѣленій, по соглашенію съ г. фонъ-Гельмгольтцомъ».

Ознакомясь съ этимъ документомъ, шесть профессоровъ Московскаго Университета (Н. Е. Жуковский, Р. А. Колли, А. Н. Маклаковъ, А. П. Соколовъ, А. Г. Столѣтовъ и Θ. П. Шереметевскій) возбудили чрезъ Совѣтъ Университета ходатайство о разрѣшеніи прочесть рядъ публичныхъ лекцій о научной дѣятельности Гельмгольца, съ тѣмъ чтобы сборъ съ лекцій, за вычетомъ расходовъ по ихъ устройству, былъ переданъ въ распоряженіе берлинской комиссіи Гельмгольцовскаго комитета, на вышеуказанныя цѣли.

По полученіи разрѣшенія г. министра Народнаго Просвѣщенія, лекціи состоялись въ физической аудиторіи Московскаго Университета въ теченіе трехъ вечеровъ 4-го, 7-го и 11-го апрѣля 1891 г., по слѣдующей программѣ:

4-е апрѣля.

I. Біографическій очеркъ и общая характеристика (А. Г. Столѣтовъ).

II. Сохраненіе энергіи (Р. А. Колли).

III. Работы Гельмгольца по механикѣ (Н. Е. Жуковский).

¹⁾ Во второмъ изданіи воззванія срокъ взносовъ былъ продолженъ до конца мая.

7-е апрѣля.

IV. Работы по фізіологической оптикѣ (А. Н. Маклаковъ).

V. Работы по акустикѣ (А. Г. Столтовъ).

11-е апрѣля.

VI. Гельмгольтцъ какъ фізіологъ и значеніе его для психологіи (Θ. П. Шереметевскій).

VII. Работы Гельмгольца по электричеству въ связи съ химіею (А. П. Соколовъ).

VIII. Заключение (А. Г. Столтовъ).

Абонементные билеты на полный цикл лекцій были пущены въ продажу по 8, 6, 5, 4, 3 и 2 р.; разовые билеты на каждый отдѣльный вечеръ, на мѣста не проданныя въ абонементъ, по 2 р. 50 к., 2 р. и 1 р. 50 к. Всѣхъ платныхъ мѣстъ въ аудиторіи было 365.

Экспериментальная обстановка лекцій была весьма тщательно выполнена препараторомъ по кафедрѣ физики, И. Ф. Усагинымъ. Матеріальному успѣху дѣла оказали существенное содѣйствіе: гг. издатели «Русскихъ Вѣдомостей», предоставившіе значительную льготу при расчетѣ за публикаціи; г. управляющій Московскимъ округомъ Высочайше утвержденнаго Общества Электрическаго Освѣщенія, М. О. Альбертъ, безвозмездно устроившій на время лекцій дополнительное освѣщеніе аудиторіи и прилегающихъ помѣщеній; г. книгопродавецъ-издатель А. А. Лангъ и помощникъ инспектора студентовъ Н. Н. Горѣловъ († 20 янв. 1892 г.), взявшіе на себя продажу билетовъ—первый въ своемъ магазинѣ, второй—въ Университетѣ, для студентовъ.

Валовой сборъ опредѣлился въ 1.315 р. ¹⁾; расходы по устройству лекцій составили 315 р. ²⁾ Очистилась ровно 1000 р., каковая сумма, составившая, въ переводѣ по курсу на Берлинъ, 2395 марокъ 20 пфенниговъ, отправлена 12 апрѣля 1891 г. по назначенію.

¹⁾ Отъ абонементныхъ билетовъ 1.141 р., отъ разовыхъ 174 р.

²⁾ Снаряды, рисунки и вознагражденіе препаратора и его помощника—176 р. 35 к.; портретъ Гельмгольца и къ нему драпировка—37 р.; типографскіе расходы—70 р. 65 к.; разные мелкіе расходы 31 р.

Къ этому взносу, немного спустя, присоединился гонораръ за отрывокъ изъ лекцій, помѣщенный въ журналъ «Вѣстникъ Европы», въ размѣрѣ 100 р., пересланныхъ г. редакторомъ журнала въ распоряженіе берлинской коммисіи ¹⁾.

Многія лица высказывали желаніе, чтобы наши лекціи явились въ печати. По предложенію лекторовъ, Совѣтъ Университета опредѣлилъ напечатать ихъ въ «Ученыхъ Запискахъ Имп. Моск. Университета», съ выпускомъ отдѣльныхъ экземпляровъ. Общую редакцію изданія внялъ на себя нижеподписавшійся. Чтобы пояснить текстъ и сколько-нибудь напомнить экспериментальную обстановку чтеній, книга иллюстрирована рисунками въ текстѣ ²⁾. Прилагаемый фототипный портретъ юбиляра есть уменьшенная копія съ гравюры Якоби, приготовленной къ юбилею.

Въ августѣ 1891 г. безвременно скончались двое изъ лекторовъ: профессоръ Р. А. Колли († 2 августа) и профессоръ Ѳ. П. Шереметевскій († 11 августа). Ихъ лекціи, воспроизводимыя по оставшимся черновымъ рукописямъ, съ возможно-малыми редакціонными измѣненіями, суть послѣдніе труды покойныхъ товарищей, являющіеся въ печати. Этимъ лекціямъ предшествуютъ портреты почившихъ ³⁾. Остальныя лекціи были подготовлены къ печати самими авторами.

По желанію юбиляра и въ виду вакаціоннаго времени, берлинское празднованіе было отложено на 2 ноября (21 октября): въ этотъ день, 49 лѣтъ тому назадъ (1842 г.), Гельмгольтцъ защищалъ свою диссертацию на степень доктора медицины.

Въ настоящее время (апрѣль 1892 г.) только что вышло полное

¹⁾ Напечатаны (въ іюньской книжкѣ „В. Е.“ за 1891 г.) первый (I) и часть послѣдняго (VIII) реферата, съ тѣми измѣненіями, какія потребовались для связи. Въ настоящемъ изданіи эти статьи воспроизводятся, съ любезнаго согласія М. М. Стасюлевича, въ томъ видѣ, какъ были читаны.

²⁾ Виньетка на стр. 77 изображаетъ лекціонный столъ аудиторіи передъ лекцією, посвященною акустикѣ.

³⁾ Въ рукописи Р. А. Колли оказался пробѣлъ (описаніе опытовъ), восполненный въ видѣ прибавленія редакторомъ. Рукопись Ѳ. П. Шереметевского, читанная въ нѣсколько сокращенномъ видѣ, воспроизводится вполнѣ. Краткія біографическія свѣдѣнія о Р. А. Колли и Ѳ. П. Шереметевскомъ помѣщены въ университетскомъ отчетѣ („Рѣчь и Отчетъ“) 1892 г.

описание празднества ¹⁾, а также отчетъ о Гельмгольтцовскомъ фондѣ ²⁾, изъ которыхъ заимствуемъ здѣсь нѣкоторыя свѣдѣнія.

Къ назначенному сроку поступило въ комитетъ 1748 взносовъ (въ томъ числѣ 126 изъ Россіи), на сумму 58.957 маркъ 10 пф. Изъ этого сбора отчислена въ капиталъ фонда сумма 40.108 м. 10 пф., обращенная въ 3% прусскіе консоли на 48.000 м. номинальной стоимости. Изъ остальнаго уплачено: за штемпель медали и первый экземпляръ ея, изъ золота, поднесенный юбиляру, 4.856 м. 60 пф.; за мраморный бюстъ, работы Гильдебранда во Флоренціи, 8.000 м.; за гравюру портрета, работы Якоби, 3000 м.; на прочіе расходы (украшеніе обѣденнаго зала, переписка, типографскія работы) 674 м. 70 пф. На лицо 2.317 м. 10 пф., изъ коихъ, по очисткѣ прочихъ издержекъ, остатокъ будетъ причисленъ къ капиталу фонда.

Фондъ будетъ состоять въ вѣдѣніи Берлинской академіи наукъ; уставъ его вырабатывается академіею по соглашенію съ Гельмгольтцомъ и, по окончательномъ утвержденіи, будетъ опубликованъ.

Незадолго до 2 ноября юбиляръ получилъ, при рескриптѣ германскаго императора, производство въ дѣйствительные тайные совѣтники, съ титуломъ Excellenz, и орденъ Чернаго Орла. Кромѣ того, ему пожаловано нѣсколько высокихъ иностранныхъ орденовъ.

Пріемъ поздравленій происходилъ 2 ноября въ квартирѣ юбиляра, въ Шарлоттенбургѣ (какъ президентъ Физико-Техническаго Учрежденія, онъ занимаетъ одно изъ зданій этого обширнаго института). Здѣсь представителями комитета, отъ имени которыхъ говорилъ Дюбуа-Реймонъ, переданы юбиляру: мраморный бюстъ, гравюра Якоби, первая «Гельмгольтцовская медаль» и документъ объ учрежденіи фонда, вмѣстѣ со спискомъ жертвователей. Изображеніе передней стороны медали воспроизводимъ въ нашемъ изданіи; на другой сторонѣ экземпляръ, поднесенный Гельмгольтцу, имѣетъ надпись:

¹⁾ Ansprachen und Reden, gehalten bei der am 2. November 1891 zu Ehren von Hermann von Helmholtz veranstalteten Feier. Berlin, 1892.

²⁾ Bericht, erstattet von dem engeren Ausschuss des Comités zur Begründung einer Helmholtz. Stiftung. Berlin, 1892.

FELICI AUGURIO.

Будущія медали будутъ имѣть на этомъ мѣстѣ имя награждаемаго.

Ко дню торжества полученъ 21 почетный дипломъ (въ томъ числѣ 9 изъ Россіи) и 63 адреса (7 изъ Россіи); кромѣ того, множество поздравительныхъ писемъ и телеграммъ.

Адресъ Императорскаго Московскаго Университета, оправленный въ сафьянный съ золотомъ переплетъ и украшенный акварельною виньеткою видовъ Москвы, выражень въ слѣдующихъ словахъ.

«Hochzuverehrender Herr!

«Die Kaiserliche Universität Moskau, welche Sie seit Jahren zu ihren Ehrenmitgliedern zählt, ergreift mit Freuden die sich darbietende Gelegenheit, Sie herzlich und dankbar zu beglückwünschen.

«Mit der Feier Ihres 70-ten Geburtstages fällt auch nahezu das 50-jährige Jubiläum Ihrer wissenschaftlichen Thätigkeit zusammen.

Eine Reihe von Leistungen ersten Ranges auf allen Gebieten der Naturwissenschaften ist als Frucht dieser genialen und unermüdlichen Wirksamkeit erwachsen. Die wissenschaftliche Begründung der Lehre von der Erhaltung der Kraft; hochwichtige Untersuchungen in der Hydrodynamik; eine durchgreifende Verarbeitung der Theorien des Sehens und des Hörens, nebst anderen Forschungen über die schwierigsten Punkte in der Physiologie; endlich, eine umfassende Reihe von Arbeiten über Elektrizität und, als deren Resultat, eine neue Beleuchtung thermochemischer Fragen: Das Alles sind Leistungen, deren jede für sich allein hinreichend wäre, Ihnen unvergänglichen Ruhm bei der Mit- und Nachwelt zu sichern. Zusammengenommen und in Einer Persönlichkeit vereinigt, bilden diese Schöpfungen ein erstaunliches Ganzes und lassen den Schöpfer als eine grossartige Verkörperung der modernen «Universitas litterarum» erscheinen.

«Die rein wissenschaftlichen Verdienste sind es aber nicht allein, was uns bewegt, Ihnen unseren tiefempfundenen Dank auszusprechen. Als langjähriger Leiter zuerst eines physiologischen, dann eines physikalischen Instituts, haben Sie sich als Weltlehrer hochverdient gemacht. Eine Anzahl unserer Landsleute sind in Ihre Schule ge-

gangen und verdanken Ihnen ihre specielle Bildung; diese machen Ihren Namen in unserem Vaterlande beliebt und heimisch. Auch in der Moskauer Universität wirken einige von Ihren Schülern. Die älteste Universität Russlands hält daher für ihre angenehme Pflicht, Ihnen für die thätige Verbreitung der Wissenschaft in dem grossen osteuropäischen Reiche zu danken.

«Genehmigen Sie denn, Hochzuverehrender Herr, unsere innigsten Glückwünsche, und möge Ihnen noch eine lange Reihe von fruchtbaren Jahren vergönnt sein!»

Moskau, 31/19 August 1891.

(«Достоуважаемый юбиляр! Императорскій Московскій Университетъ, многіе годы считающій Васъ въ числѣ своихъ почетныхъ членовъ, съ радостію пользуется случаемъ поднести Вамъ сердечный привѣтъ и благодарность.

«Съ празднованіемъ 70-го дня Вашего рожденія близко совпадаетъ и 50-лѣтній юбилей Вашей научной дѣятельности.

«Рядъ первоклассныхъ изысканій по всѣмъ отдѣламъ естествознанія былъ плодомъ этой геніальной и неутомимой работы. Научное обоснованіе ученія о сохраненіи силы; важнѣйшія изслѣдованія по гидродинамикѣ; исчерпывающая переработка теорій зрѣнія и слуха, рядомъ съ другими изысканіями по самымъ труднымъ пунктамъ фізіологіи; наконецъ, рядъ работъ по электричеству, и въ результатъ ихъ—новое освѣщеніе термохимическихъ вопросовъ: все это—такія заслуги, что каждая изъ нихъ, отдѣльно взятая, была бы достаточна, чтобъ обезпечить Вамъ навсегда славу у современниковъ и у потомства. Взятая въ совокупности и сосредоточенная въ одномъ лицѣ, эти творенія составляютъ изумительное цѣлое и дѣлаютъ ихъ творца грандіознымъ воплощеніемъ современной «Universitas litterarum».

„Но не однѣ чисто научныя заслуги Ваши побуждаютъ насъ высказать Вамъ нашу глубоко прочувствованную благодарность. Какъ многолѣтній руководитель сперва фізіологическаго, потомъ физическаго института, Вы заслужили славу всесвѣтнаго учителя. Значительное число нашихъ соотечественниковъ прошло черезъ Вашу школу и обязано Вамъ своимъ спеціальнымъ образованіемъ; черезъ нихъ Ваше имя стало дорогимъ и роднымъ въ нашемъ отечествѣ.

И въ Московскомъ Университетѣ дѣйствуютъ нѣсколько Вашихъ учениковъ. Старѣйшій русскій университетъ считаетъ потому своимъ пріятнымъ долгомъ принести Вамъ благодарность за дѣятельное распространеніе науки въ великой имперіи Востока Европы. «Примите же, высокоуважаемый юбиляръ, наши искреннія пожеланія, и да будетъ Вамъ дарованъ еще долгій рядъ плодотворныхъ годовъ!»

Москва, 31/19 августа 1891 г.

(Подпись ректора и декановъ. ¹⁾)

Въ тотъ же день, 2 ноября, въ 6 часовъ вечера, въ берлинской гостинницѣ *Kaiserhof*, состоялся по подпискѣ торжественный обѣдъ. Въ числѣ рѣчей, произнесенныхъ въ этомъ собраніи, отвѣтная рѣчь юбиляра имѣетъ высокій автобіографическій интересъ и отличается свойственными Гельмгольтцу глубиной мысли и изяществомъ формы. Эту замѣчательную рѣчь прилагаемъ здѣсь вполнѣ, въ возможно точномъ переводѣ.

А. Столѣтовъ.

Апрѣль 1892 г.

¹⁾ Отвѣтомъ было слѣдующее письмо:

Charlottenburg, den 2. November 1891.

Hochgeehrte Herren!

Sie haben mir zur Feier meines siebenzigsten Geburtstages Worte wärmster Anerkennung für meine wissenschaftlichen Bestrebungen und freundliche Glückwünsche für die Zukunft, in künstlerischer Weise geschmückt, gesendet. Ich bitte Sie dafür den Ausdruck meines tief empfundenen Dankes annehmen zu wollen.

Es ist für mich eine grosse und erhebende Freude gewesen, in solchem Maasse durch die Zustimmung urtheilsfähigster Männer geehrt zu werden.

In grösster Hochachtung

Ihr sehr ergebener

Dr. H. v. Helmholtz.

An die Kaiserliche Universität in
Moskau.

Рѣчь Гельмгольца

на обѣдѣ 2 ноября 1891 г.

Милостивые государи и дорогіе друзья!

Въ теченіе этого послѣдняго года, и подѣ-конецъ—на празднованіи и на послѣпразднованіи семидесятаго дня моего рожденія, я былъ осыпанъ почестями, доказательствами уваженія и благожелательства въ такой мѣрѣ, какъ никогда не ожидалъ. Мой государь, его величество германскій императоръ, возвелъ меня на высшую ступень своихъ чиновъ; короли Швеціи и Италіи, мой прежній государь—великій герцогъ баденскій, президентъ французской республики, — украсили грудь мою высокими крестами. Многія академіи—не только академіи наукъ, но и художествъ,—факультеты и ученые общества, разсѣянные по земному шару отъ Томска до Мельборна, прислали мнѣ дипломы и изящно изукрашенные торжественные адреса, выражая свое признаніе моихъ научныхъ стремленій и свою за нихъ благодарность въ такихъ словахъ, которыхъ я не могу читать безъ смущенія. Моя родина, городъ Потсдамъ, сдѣлала меня своимъ почетнымъ гражданиномъ. Наконецъ, безчисленные отдѣльные лица, научные и личные друзья, ученики, незнакомцы—прислали мнѣ поздравленія въ письмахъ и телеграммахъ.

Но этого мало. Вы желаете сдѣлать мое имя какъ бы знаменемъ грандіознаго учрежденія. Основанное друзьями науки изъ всѣхъ національностей, оно должно поощрять и ободрять научное изслѣдованіе во всѣхъ странахъ земнаго шара. Въ настоящее время наука и искусство остаются единственною мирною связью, соединяющею цивилизованныя націи. Непрерывная дальнѣйшая разработка науки и искусства служитъ общою для всѣхъ цѣлью, — цѣлью, которая достигается всеобщою работою на всеобщую пользу. Великое и святое дѣло! Учредители желаютъ притомъ посвятить свой даръ преимущественно на поощреніе тѣхъ отраслей изысканія, которыя я преслѣдовалъ въ моей собственной жизни, и меня, въ моей временной ограниченности, ставятъ какъ бы въ образецъ изслѣдователя для будущихъ поколѣній. Это — самая высшая почестъ, какую я могъ получить, ибо въ ней сказался безусловно-одобрительный приговоръ. Но было бы излишней смѣлостью принять эту честь безъ тайной надежды, что эксперты будущихъ столѣтій почувствуютъ себя свободными отъ всякихъ отношеній къ моей преходящей личности.

Даже тотъ временный образъ, въ какомъ я проходилъ эту жизнь, вы пожелали воспроизвести рукою первокласснаго мастера, такъ что потомки увидятъ меня въ еще болѣе идеальномъ видѣ, чѣмъ нынѣ живущіе; а другой художникъ, граверъ, позаботился о распространеніи моего вѣрнаго портрета между современниками.

Не могу не признать, что все сдѣланное вами для меня свидѣтельствуешь о самомъ искреннемъ и высокомъ благожеланіи, и что я обязанъ вамъ за то глубочайшей благодарностью.

Но прошу прощенія, если это обиліе почестей прежде всего изумляетъ и смущаетъ меня настолько, что я затрудняюсь ихъ понять. Въ моемъ собственномъ сознаніи я не нахожу соотвѣтственнаго масштаба для оцѣнки того, что я старался сдѣлать, не подвожу того итога, какой вы подводите. Я знаю, какъ просто возникало все то, что я сдѣлалъ, какъ послѣдовательно привели къ тому методы, разработанныя моими предшественниками, какъ помогали мнѣ подчасъ благопріятный случай или счастливое обстоятельство. Но главная разница вотъ въ чемъ: то, что для

меня выросло медленно изъ невзрачныхъ зачатковъ, мѣсяцами и годами трудной, нерѣдко ощупью подвигавшейся работы, — то для вашего взора являлось внезапно, какъ вооруженная Паллада изъ головы Юпитера. Вашъ приговоръ былъ подкупленъ неожиданностью, какой не могло быть для меня; быть-можетъ даже, моя самооцѣнка была иной разъ нѣсколько принижена утомленіемъ отъ работы и досадой на неправильные шаги, сдѣланные по дорогѣ.

Спеціалисты и публика судятъ о произведеніи науки или искусства по той пользѣ, по тому поученію или наслажденію, какія оно доставляетъ. Авторъ большею частію склоненъ цѣнить свою работу по тому труду, какого она ему стоила. Эти два способа оцѣнки рѣдко совпадаютъ между собою. Напротивъ, изъ случайныхъ заявленій знаменитѣйшихъ людей—въ особенности художниковъ—можно заключить, что именно тѣ творенія, которыя кажутся намъ безподобными и недосягаемыми, слишкомъ мало цѣнились самимъ творцомъ сравнительно съ другими работами, которыя были для него труднѣе, а читателямъ и зрителямъ напротивъ кажутся менѣе удачными. Напомню только о Гёте: по свидѣтельству Эккермана, онъ заявилъ однажды, что всѣ свои поэтическія произведенія ставитъ не такъ высоко, какъ свои работы по теоріи цвѣтовъ.

Если вѣрить вашимъ утвержденіямъ и полученнымъ мною адресамъ, то и со мной—хотя въ болѣе скромномъ масштабѣ—было то же самое. Позвольте мнѣ вкратцѣ рассказать, какимъ образомъ вошелъ я въ то направленіе, которымъ отмѣчена моя дѣятельность.

Первыя семь лѣтъ моей жизни я былъ физически болѣзненнымъ мальчикомъ, прикованнымъ къ комнатѣ, нерѣдко къ постели, но одареннымъ живой потребностью развлеченія и дѣятельности. Родители много занимались мною; книги съ картинками и игра—особенно игра въ постройку изъ деревяшекъ — помогали наполнять остальное время. Къ этому довольно рано присоединилось чтеніе, естественно расширившее кругъ моихъ интересовъ. Но столь же рано обнаружился и нѣкоторый недостатокъ въ моемъ

умственномъ складѣ: слабая память на вещи, не имѣющія внутренней связи. Первымъ признакомъ этого считаю ту, донинѣ ясно памятную трудность, съ какою я различалъ правую и лѣвую сторону. Позже, когда въ школѣ я приступилъ къ изученію языковъ, мнѣ было труднѣе, чѣмъ другимъ, запоминать вокабулы, неправильныя грамматическія формы, особенныя обороты рѣчи. Исторію, въ томъ видѣ какъ ее намъ тогда преподавали, я едва могъ осилить какъ слѣдуетъ. Для меня было мукою учить наизусть статьи въ прозѣ. Этотъ недостатокъ естественно только усилился съ годами и сталъ бѣдствіемъ моей старости.

Но когда имѣлась какая-нибудь мнемоническая помощь,—хотя бы та, какую даютъ метръ и рима въ поэзіи,—заучиваніе и удерживаніе въ памяти удавалось мнѣ гораздо лучше. Стихотворенія великихъ поэтовъ я запоминалъ весьма легко, нѣсколько искусственные стихи второклассныхъ писателей — далеко не такъ успѣшно. Я приписываю это тому естественному теченію мыслей, какое находимъ въ хорошихъ произведеніяхъ, и готовъ видѣть въ этомъ обстоятельстве одинъ изъ существенныхъ корней эстетической красоты. Въ высшихъ классахъ гимназіи я могъ прочесть наизусть нѣсколько пѣсенъ Одиссея, довольно много одъ Горация и лучшія сокровища нѣмецкой поэзіи. Въ этомъ отношеніи я, стало-быть, уподоблялся нашимъ древнѣйшимъ предкамъ, которые, еще не умѣя писать, облекали свои законы и свою исторію въ форму стиховъ, чтобы легче затверживалось.

Что легко удастся человѣку, то онъ охотно и дѣлаетъ. Такимъ образомъ я сдѣлался большимъ любителемъ поэзіи. Эту склонность поощрялъ отецъ, человѣкъ строгій въ исполненіи долга, но вмѣстѣ съ тѣмъ энтузіастъ, страстный поклонникъ поэзіи, особенно—великой эпохи нѣмецкой литературы. Онъ давалъ намъ въ высшихъ классахъ гимназіи уроки нѣмецкой словесности и читалъ съ нами Гомера; подъ его руководствомъ мы занимались также то нѣмецкими сочиненіями въ прозѣ, то метрическими упражненіями—мы называли ихъ стихотвореніями. Хотя большинство изъ насъ были плохіе поэты, но этотъ путь, лучше чѣмъ какое-либо мнѣ извѣстное упражненіе, приучалъ насъ подбирать самые разнообразныя способы для выраженія данной темы.

Самымъ совершеннымъ мнемоническимъ пособіемъ служить однакожъ знаніе закона явленій. Это я узналъ впервые, изучая геометрію. Изъ моихъ дѣтскихъ игръ въ стройку, пространственныя отношенія были мной хорошо усвоены путемъ нагляднаго знакомства. Не долго думая, я отлично представлялъ себѣ, какъ размѣстятся и прилягутъ одно къ другому тѣла правильной формы, когда я поверну ихъ такъ или иначе. Когда я приступилъ къ научному изученію геометріи, оказалось, къ удивленію моихъ учителей, что всѣ преподаваемые факты были мнѣ уже отлично знакомы. Насколько помню, это обнаружилось при случаѣ еще въ той народной школѣ потсдамской учительской семинаріи, которую я посѣщалъ до восьмилѣтняго возраста. Новостью, напротивъ была для меня строгая метода науки, и при ея помощи исчезали тѣ затрудненія, какія прежде стѣсняли меня въ другихъ областяхъ.

Одного лишь недоставало геометріи: въ ней разсматривались однѣ только отвлеченныя формы пространства, а меня радовала полная дѣйствительность. Подростая и становясь сильнѣе, я много бродилъ, съ отцомъ и съ товарищами, по красивымъ окрестностямъ моего роднаго города, Потсдама, и пріобрѣлъ большую любовь къ природѣ. Понятно, что первые отрывки физики, съ какими пришлось познакомиться въ гимназіи, стали привлекать меня уже гораздо сильнѣе, чѣмъ чисто геометрическія и алгебраическія занятія. Здѣсь уже лежало богатое и разнообразное содержаніе, отражавшее всю мощь и все обиліе природы, и это содержаніе подводилось подъ господство логически сформулированнаго закона. Это-то духовное подчиненіе вначалѣ чуждой намъ природы, подчиненіе логической формѣ закона, всего раньше и всего сильнѣе привлекло меня. Но вскорѣ, понятно, присоединилось сознаніе того, что знакомство съ законами природы есть тотъ волшебный ключъ, который даетъ своему обладателю власть надъ природой. Я очень сроднился съ этимъ кругомъ мыслей.

Съ величайшимъ усердіемъ и радостью набросился я на изученіе всѣхъ физическихъ учебниковъ, какіе находилъ въ библіотекѣ отца. Это были старомодныя книги; въ нихъ еще красовался флогистонъ, а гальванизмъ не заходилъ далѣе вольтова столба. Въ-

стѣ съ однимъ товарищемъ пытались мы, съ нашими малыми средствами, продѣлывать разные прочитанные опыты. Съ дѣйствіемъ кислотъ на родительскіе запасы бѣлья познакомились мы основательно; кромѣ этого — мало что удавалось; сравнительно лучше удавалось собирать оптическіе инструменты изъ очковыхъ стеколъ, какія можно было найти и въ Потсдамѣ, да маленькой ботанической лупы отца. Ограниченность внѣшнихъ средствъ имѣла для меня, въ этой ранней стадіи, ту пользу, что я научался вновь и вновь передумывать планы предстоящихъ опытовъ, пока не находилъ форму, для меня удобоисполнимую. Долженъ сознаться, что иной разъ, когда въ классѣ читались Цицеронъ или Виргилій (тотъ и другой внушали мнѣ величайшую скуку), — я, подѣ столѣмъ, вычислялъ ходъ лучей въ телескопахъ, и уже тогда нашелъ нѣкоторыя оптическія теоремы, о которыхъ обыкновенно ничего не говорятъ учебники, но которыя были мнѣ очень полезны впоследствии, при построеніи глазнаго зеркала.

Такъ усвоилъ я то особое направленіе занятій, которое удержалъ и потомъ, и которое, при указанныхъ обстоятельствахъ, развивалось какъ страстное влеченіе. Это влеченіе — подчинять дѣйствительность логическому понятію, или — что я считаю инымъ выраженіемъ того же самаго — открывать причинную связь явленій, — это влеченіе руководило мною всю жизнь, и силѣ его обязанъ я тѣмъ, что не успокоивался на кажущемся рѣшеніи задачи, пока еще чувствовалъ въ ней темные пункты.

Наступало время перехода въ университетъ. Въ ту пору физика еще не считалась въ числѣ хлѣбныхъ занятій. Мои родители были вынуждены жить крайне бережливо. Отецъ объявилъ, что можетъ помочь мнѣ въ изученіи физики не иначе какъ подѣ условіемъ, что я возьму и медицину въ придачу. Я былъ ничуть не противъ того, чтобъ изучать живую природу, и согласился безъ затрудненій. Къ тому же единственный вліятельный человѣкъ въ нашей семьѣ былъ врачъ, — бывшій генераль-хирургъ Мурсинна. Это родство обезпечило мнѣ, среди другихъ конкурентовъ, пріемъ въ наше военно-медицинское учебное заведеніе, институтъ Фридриха-Вильгельма, которое столь существенно облегчаетъ прохожденіе врачебнаго курса недостаточнымъ студентамъ.

При этихъ новыхъ занятіяхъ я сейчасъ же подпалъ вліянію глубокомысленнаго учителя, фізіолога Іоганна Мюллера; онъ же, и въ ту же пору, привлекъ къ фізіологіи и анатоміи Э. Дюбуа-Реймона, Э. Брюкке, К. Лудвига, Фирхова. Относительно загадочныхъ вопросовъ о природѣ жизни, І. Мюллеръ еще боролся между старымъ, по существу метафизическимъ воззрѣніемъ и— вновь развивавшимся натуралистическимъ; но убѣжденіе въ томъ, что знанія фактовъ нельзя замѣнить ничѣмъ, выступало у него все съ бѣльшею и бѣльшею твердостью, а то обстоятельство, что онъ самъ еще боролся, быть можетъ, еще болѣе способствовало тому вліянію, какое онъ производилъ на своихъ учениковъ.

Молодые люди всего охотнѣе берутся сразу за самыя глубокія задачи; такъ и меня занялъ вопросъ о загадочномъ существѣ жизненной силы. Большинство фізіологовъ въ то время ухвати-лось за компромиссъ Г. Э. Штала. По Шталю, силы дѣйствующія въ живомъ тѣлѣ суть фізическія и химическія силы органовъ и веществъ; но какая-то присущая тѣлу жизненная душа (*Lebensseele*) или жизненная сила можетъ связывать или освобождать ихъ дѣятельность; свободная игра этихъ силъ по смерти организма вызываетъ гніеніе, а при жизни дѣйствіе ихъ постоянно регулируется жизненною силой. Въ такомъ объясненіи мнѣ чужалось что-то противуестественное; но мнѣ стоило великаго труда формулировать смутное подозрѣніе въ видѣ точнаго вопроса. Наконецъ, въ послѣдній годъ моего студенчества, я нашелъ, что Шталева теорія приписываетъ всякому живому тѣлу свойства такъ-называемаго *perpetuum mobile*. О пререканіяхъ относительно *perpetuum mobile* я зналъ довольно хорошо: разговоры о нихъ я часто слыжалъ, въ эпоху моихъ школьныхъ занятій, отъ отца и отъ нашего учителя математики. Потомъ, въ качествѣ воспитанника института Фридриха-Вильгельма, мнѣ приходилось помогать бібліотекарю, и въ свободныя минуты я разыскивалъ и просматривалъ сочиненія Даніэля Бернулли, д'Аламберта и другихъ математиковъ прошлаго столѣтія. Такимъ образомъ я натолкнулся на вопросъ: «какія отношенія должны существовать между различными силами природы, если принять, что *perpetuum mobile* вообще невозможно?»

и далѣе: «Выполняются ли въ дѣйствительности всѣ эти отношенія?» Въ моей книжкѣ о сохраненіи силы я намѣревался только дать критическую оцѣнку и систематику фактовъ, въ интересѣ физиологовъ.

Для меня не было бы неожиданностью, если бы въ концѣ концовъ свѣдущіе люди сказали мнѣ: «Да все это намъ отлично извѣстно. Чего хочетъ этотъ юный медикъ, распространяясь такъ подробно объ этихъ вещахъ?» Къ моему удивленію, тѣ авторитеты по физикѣ, съ которыми мнѣ пришлось войти въ соприкосновеніе, посмотрѣли на дѣло совершенно иначе. Они были склонны отвергать справедливость закона; среди той ревностной борьбы, какую они вели съ натурфилософіей Гегеля, и моя работа была сочтена за фантастическое умствование. Только математикъ Якоби призналъ связь между моими разсужденіями и мыслями математиковъ прошлаго вѣка, заинтересовался моимъ опытомъ и защищалъ меня отъ недоразумѣній. Съ другой стороны, восторженное одобреніе и практическую помощь нашелъ я у моихъ молодыхъ друзей, въ особенности у Э. Дюбуа-Реймона. Вскорѣ они привлекли на мою сторону членовъ только что возникавшаго Берлинскаго Физическаго Общества. О работахъ Джауля на ту же тему я зналъ въ то время очень мало, о Р. Майерѣ—ровно ничего.

Къ этому присоединились потомъ небольшія опытыя изслѣдованія по физиологіи, о гніеніи и броженіи, гдѣ мнѣ удалось доказать, что эти процессы—отнюдь не простыя химическія разложенія, наступающія самопроизвольно или вызываемыя содѣйствіемъ кислорода атмосферы, какъ думалъ Либихъ; что винное броженіе, напримѣръ, существенно обусловлено присутствіемъ дрожжевыхъ грибовъ, возникающихъ не иначе какъ путемъ размноженія. Далѣе слѣдовала работа объ объемѣ вещества при дѣйствіи мышцъ; къ ней присоединилась позже другая работа—о развитіи тепла при мышечной работѣ: эти процессы предусматривались закономъ сохраненія силы.

Эти изслѣдованія обратили на меня вниманіе Іоганна Мюллера а также—прусскаго вѣдомства народнаго просвѣщенія; я былъ приглашенъ въ Берлинъ какъ преемникъ Брюкке, а вслѣдъ затѣмъ

въ Кёнигсбергскій университетъ. Военно-медицинскому начальству я обязалъ благодарностью за ту готовность, съ какою оно освободило меня отъ обязательства продолжать военную службу и сдѣлало мнѣ возможнымъ переходъ на ученую дорогу.

Въ Кёнигсбергѣ мнѣ пришлось читать общую патологию и физиологию. Университетскій преподаватель подчиненъ чрезвычайно полезной дисциплинѣ: каждый годъ онъ долженъ прочесть свой предметъ во всемъ объемѣ, и прочесть такъ, чтобъ убѣдить и удовлетворить даже наиболѣе свѣтлыя головы своей аудиторіи,—крупныхъ людей будущаго поколѣнія. Этому принужденію я обязанъ прежде всего двумя цѣнными плодами.

Именно, готовясь къ лекціямъ, я напалъ сперва на мысль о возможности глазнаго зеркала, а потомъ—на проектъ измѣрить время распространенія раздраженій по нервамъ.

Глазное зеркало сдѣлалось, кажется, самою популярною изъ моихъ научныхъ работъ; но я уже рассказалъ окулистамъ, что счастье играло здѣсь въ сущности несравнено болѣшую роль, чѣмъ заслуга. Мнѣ пришлось излагать ученикамъ теорію свѣченія глаза, принадлежащую Брюкке. Собственно говоря, Брюкке стоялъ на волюсь отъ изобрѣтенія глазнаго зеркала. Онъ только не задалъ себѣ вопроса: какому оптическому изображенію принадлежатъ лучи, возвращающіеся изъ свѣтящагося глаза? Для своей тогдашней цѣли онъ не имѣлъ надобности ставить себѣ этого вопроса. Будь вопросъ поставленъ,—Брюкке, совершенно такъ же какъ и я, сумѣлъ бы тотчасъ на него отвѣтить, и планъ глазнаго зеркала былъ бы готовъ. Я обдумывалъ задачу съ разныхъ сторонъ, чтобы найти, какъ всего проще изложить ее слушателямъ, и при этомъ напалъ на упомянутый вопросъ. Изъ своихъ медицинскихъ курсовъ я хорошо зналъ, какъ затрудняютъ врачей тѣ случаи, которые въ ту пору подводились подъ общій терминъ «темной воды». Я тотчасъ же принялся собирать себѣ снарядъ изъ очковыхъ стеколъ и изъ покровныхъ стеклышекъ, употребляемыхъ для микроскопическихъ предметовъ. Сперва снарядъ былъ мало удобенъ. Безъ твердаго теоретическаго убѣжденія, что дѣло должно пойти, я можетъ-быть бросилъ бы свою попытку. Но съ не-

дѣлю спустя мнѣ выпала великая радость: я былъ первымъ, кто ясно увидѣлъ передъ собою живую сѣтчатку человѣческаго глаза.

Для внѣшняго моего положенія въ свѣтѣ построеніе глазнаго зеркала принесло весьма важные результаты. И у начальства, и у товарищей по спеціальности, я встрѣчалъ теперь самое предупредительное вниманіе, и могъ свободнѣе слѣдовать внутреннему влеченію моей научной жажды. Я самъ приписывалъ свою удачу главнымъ образомъ тому счастливому обстоятельству, что, обладая нѣкоторой долей геометрическаго смысла и свѣдѣніями по физикѣ, я попалъ въ сферу медицины и здѣсь, въ фізіологіи, встрѣтилъ дѣвственную почву необычайнаго плодородія; а съ другой стороны, знакомство съ явленіями жизни наводило меня на такіе вопросы и соображенія, которые обыкновенно бываютъ чужды чистому математику и физикѣ. По математическимъ способностямъ я до сихъ поръ могъ сравнивать себя только съ товарищами по школѣ и съ товарищами-медиками; превосходство надъ большинствомъ изъ нихъ въ этомъ отношеніи значило еще не Богъ знаетъ какъ много. Сверхъ того, на математику въ школѣ смотрѣли какъ на предметъ второстепенный; а по классу латинскаго сочиненія, которымъ въ то время еще главнѣйше опредѣлялась пальма первенства, добрая половина моихъ товарищей шла впереди меня.

На мой взглядъ, мои работы были только прямымъ послѣдовательнымъ примѣненіемъ выработанныхъ въ наукѣ, экспериментальныхъ и математическихъ методовъ; каждый разъ требовались лишь нетрудныя видоизмѣненія, чтобы приспособить ихъ къ данной особой цѣли. Мои товарищи и друзья, также посвятившіе себѣ физической сторонѣ фізіологіи, достигли не менѣе поразительныхъ результатовъ.

Но, конечно, долго не могло такъ продолжаться. Мало-по-малу задачи, рѣшеніе которыхъ достигалось по извѣстнымъ способамъ, я долженъ былъ предоставлять моимъ ученикамъ по лабораторіи, а самъ обратился къ болѣе труднымъ работамъ, гдѣ успѣхъ былъ менѣе обезпеченъ, гдѣ общія методы ничего не давали изслѣдователю, или гдѣ еще нужно было выработать методу.

И въ этихъ областяхъ, ближе подходящихъ къ предѣламъ нашего знанія, мнѣ удалось кое-что, какъ съ опытной, такъ и съ ма-

тематической стороны. Не знаю, имѣю ли право причислить и сторону философскую. Что касается экспериментальнаго умѣнья, я, какъ и всякій, кто принимался за многія экспериментальныя задачи, сталъ мало-по-малу человѣкомъ опытнымъ, знающимъ многіе пути и приемы; съ юныхъ лѣтъ зародившаяся способность къ геометрическому представленію выработалась въ извѣстнаго рода механическую наглядку: я какъ бы чувствовалъ, какъ распредѣляются давленія и натяженія въ механической системѣ, что впрочемъ встрѣчается также у опытныхъ механиковъ и строителей машинъ. Передъ этими послѣдними я имѣлъ нѣкоторое преимущество въ томъ, что могъ освѣтить себѣ теоретическимъ анализомъ тѣ соотношенія, которыя представлялись особенно сложными, или имѣли особенную важность.

Далѣе, мнѣ удалось рѣшить нѣкоторыя физико-математическія задачи, и въ томъ числѣ даже такія, надъ которыми тщетно трудились великіе математики со временъ Эйлера, напр. вопросы о вихревыхъ движеніяхъ и о разрывности движенія въ жидкостяхъ, вопросъ о распространеніи звука у открытыхъ концовъ органныхъ трубъ, и пр. Но та гордость, какую могъ бы внушать мнѣ въ этихъ случаяхъ конечный результатъ, значительно снижалась отъ сознанія, что рѣшеніе подобныхъ задачъ почти всегда удавалось мнѣ не иначе какъ путемъ постепеннаго обобщенія удобныхъ частныхъ случаевъ, рядомъ счастливыхъ проблесковъ мысли, приходившихъ въ голову послѣ долгаго блужданія по сторонамъ. Я могу сравнить себя съ путникомъ, который предпринялъ восхожденіе на гору, не зная дороги; долго и съ трудомъ взбирается онъ и часто вынужденъ ворочаться назадъ, ибо дальше нѣтъ прохода; то размышленіе, то случай открываютъ ему новыя тропинки, онѣ ведутъ его нѣсколько далѣе, и наконецъ, когда цѣль уже достигнута, онъ, къ своему стыду, находитъ широкую дорогу, по которой могъ бы подняться, еслибы съумѣлъ вѣрно отыскать начало. Въ своихъ статьяхъ я, конечно, не занималъ читателя рассказомъ о такихъ блужданіяхъ, описывая только тотъ проторенный путь, по которому теперь онъ можетъ безъ труда взойти на вершину.

Есть люди съ узкимъ кругозоромъ, которые проникаются удивленіемъ къ самимъ себѣ, когда имъ приходитъ въ голову счастливая

мысль, или когда имъ кажется, что пришла таковая. Исслѣдователь или художникъ, котораго часто и обильно посѣщаютъ счастливыя идеи, есть безспорно натура особенно одаренная; его признають благодѣтелемъ человѣчества. Но кто сочтетъ и взвѣситъ эти молніи ума? кто сумѣетъ прослѣдить тайнственные пути сдѣляющихся представленій,—того,

Was, vom Menschen nicht gewusst
Oder nicht bedacht,
Durch das Labyrinth der Brust
Wandelt in der Nacht?

(«что, невѣдомо для насъ и помимо мысли, ночью бродить въ тайникахъ груди человѣка»).

Признаюсь, какъ предметъ работы, мнѣ всегда были пріятнѣе тѣ области, гдѣ не имѣешь надобности рассчитывать на помощь случая или счастливой мысли.

Но, попадая довольно часто въ то непріятное положеніе, гдѣ приходится ждать такихъ проблесковъ, я пріобрѣлъ нѣкоторый опытъ насчетъ того, когда и гдѣ они ко мнѣ являлись,—опытъ, который быть-можетъ пригодится другимъ. Эти счастливыя наитія нерѣдко вторгаются въ голову такъ тихо, что не сразу замѣтишь ихъ значеніе; иной разъ только случайность укажетъ впослѣдствіи, когда и при какихъ обстоятельствахъ они приходили; а не то—мысль въ головѣ, а откуда она—не знаешь самъ. Но въ другихъ случаяхъ мысль осѣняетъ васъ внезапно, безъ усилія, какъ вдохновеніе. Насколько могу судить по личному опыту, она никогда не рождается въ усталомъ мозгу, и никогда за письменнымъ столомъ. Каждый разъ мнѣ приходилось сперва всячески переворачивать мою задачу на всѣ лады, такъ что всѣ ея изгибы и сплетенія залегали прочно въ головѣ и могли быть снова пройдены наизусть, безъ помощи письма. Дойти до этого обыкновенно невозможно безъ долгой предварительной работы. Затѣмъ, когда прошло наступившее утомленіе, требовался часокъ полной тѣлесной свѣжести и чувства спокойнаго благосостоянія—и только тогда приходили хорошія идеи. Часто, согласно съ приведенными стихами

Гёте, онѣ являлись утромъ, при пробужденіи, какъ замѣчалъ и Гауссъ ¹⁾. Особенно охотно приходили онѣ—какъ я уже рассказывалъ въ Гейдельбергѣ—въ часы неторопливаго подъема по лѣсистымъ горамъ, въ солнечный день. Малѣйшее количество спиртоваго напитка какъ бы отпугивало ихъ прочь.

Такія минуты плодотворнаго обилія мыслей были, конечно, очень отрадны; менѣе пріятна была обратная сторона—когда спасительныя мысли не являлись. Тогда по цѣлымъ недѣлямъ, по цѣлымъ мѣсяцамъ я мучился надъ труднымъ вопросомъ, и со мной бывало то же, что—

dem Thier, auf dürrer Haide

Von einem bösen Geist im Kreis herumgeführt,

Und rings umher liegt schöne grüne Weide...

(«со звѣремъ, что въ пустынѣ тощей вокругъ блуждаетъ, духомъ злымъ водимый; а лугъ зеленый стелется окрестъ»).

Часто только сильный припадокъ головной боли освобождалъ меня наконецъ изъ этого плѣна и возвращалъ къ другимъ интересамъ.

Проникалъ я и въ другую область, куда вели меня изслѣдованія о чувственныхъ ощущеніяхъ и воспріятіяхъ, въ область теоріи познанія. Физикъ, желающій работать съ телескопомъ или гальванометромъ, долженъ ихъ изслѣдовать, долженъ выяснитъ себѣ, что могутъ дать ему эти снаряды, въ чемъ могутъ обмануть его. Точно также казалось мнѣ обязательнымъ изслѣдовать свойства и дѣйствія нашей мыслительной способности. Дѣло шло здѣсь о нѣкоторыхъ фактическихъ вопросахъ, на которые можно и должно дать опредѣленный отвѣтъ. Мы получаемъ извѣстныя чувственные впечатлѣнія, мы умѣемъ дѣйствовать въ силу этихъ впечатлѣній. Въ общемъ правилѣ, результатъ дѣйствія совпадаетъ съ тѣмъ, какой мы ожидаемъ видѣть; иногда, при такъ-называемыхъ

¹⁾ Gauss' Werke, Bd. V, p. 609: «Законъ индукціи (найденъ 1835 г. 23 января, въ 7 ч. утра, передъ вставаньемъ»).

обманахъ чувствъ, совпаденія нѣтъ. Все это—объективные факты, которыхъ закономерное соотношеніе доступно изслѣдованію. Самый существенный выводъ, къ какому я пришелъ, состоялъ въ томъ, что чувственные впечатлѣнія суть только отмѣтки качествъ внѣшняго міра, знаки, истолкованію которыхъ мы должны научиться изъ опыта. Интересъ къ вопросамъ теоріи познанія укоренился во мнѣ еще съ юныхъ лѣтъ: мнѣ часто случалось прислушиваться къ спорамъ отца, глубоко проникнутаго Фихтевскимъ идеализмомъ, съ его товарищами, почитателями Гегеля или Канта. Донынѣ я имѣлъ мало поводовъ гордиться этими изслѣдованіями: на одного приверженца я встрѣчалъ десятокъ противниковъ. Особенно возставали на меня всѣ метафизики,—въ томъ числѣ и метафизики матеріализма,—и всѣ вообще люди съ тайными метафизическими склонностями. Но адреса этихъ послѣднихъ дней открыли мнѣ цѣлый рядъ друзей, которыхъ я не зналъ дотолѣ, такъ что и въ этомъ отношеніи настоящій праздникъ приноситъ мнѣ радость и новую надежду. Правда, философія уже почти три тысячи лѣтъ служила ареной ожесточенныхъ пререканій, и нельзя ожидать, чтобъ эти споры пришли къ концу въ теченіе одной человѣческой жизни.

Я хотѣлъ показать вамъ, какъ, съ моей точки зрѣнія, представляется мнѣ исторія моихъ научныхъ стремленій и тѣхъ успѣховъ, какіе мнѣ выпали на долю. Быть-можетъ, вы теперь поймете, какъ пораженъ я необычайнымъ обиліемъ тѣхъ похвалъ, которыми я осыпанъ. Для моей самооцѣнки эти успѣхи имѣли прежде всего одно значеніе: они давали мнѣ мѣрило того, на что я могъ посягать далѣе; надѣюсь, они не вовлекли меня въ самоудивленіе. Какъ губительною можетъ стать для ученаго такая манія величія,—я видалъ не рѣдко, и всегда старался уберечь себя отъ власти этого врага. Я зналъ, что строгая критика собственныхъ работъ и дарованій есть лучшая защита отъ этой напасти. Стоить только не закрывать глаза на то, что могутъ другіе и чего не можешь самъ,—и опасность, полагаю, окажется не такъ велика. Что касается моихъ собственныхъ работъ, я не думаю, чтобъ когда-либо мнѣ пришлось закончить послѣднюю корректуру статьи и не найти

потомъ, въ первые же 24 часа, такихъ пунктовъ, которые я могъ бы развить лучше или полнѣе.

Вы утверждаете, что обязаны мнѣ благодарностью. Я погрѣшилъ бы противъ искренности, еслибы сталъ говорить, что благо челоуѣчества съ самого начала стояло предъ моими глазами, какъ сознательная цѣль моей работы. Въ сущности, меня влекла впередъ особаго рода потребность знанія; побуждаемый ею, я посвящалъ научной работѣ все то время, какое оставалось отъ служебныхъ занятій и отъ заботъ о семьѣ. Впрочемъ, и эти оговорки не требовали существенныхъ уклоненій отъ тѣхъ цѣлей, къ какимъ я стремился. Служебныя занятія обязывали хранить способность къ чтенію университетскихъ лекцій, семья побуждала установить и поддерживать мою репутацію, какъ изслѣдователя. Государство давало мнѣ средства къ жизни, научныя пособія и вдоволь свободнаго времени, и потому, на мой взглядъ, имѣло право требовать, чтобы все, до чего дошелъ я при его помощи, открыто и вполнѣ сообщаемо было мною согражданамъ.

Письменная обработка научныхъ изслѣдованій большею частію бываетъ труднымъ дѣломъ; мнѣ, по крайней мѣрѣ, она стоила великаго труда. Многіе отдѣлы моихъ статей я переписывалъ по четыре, по шести разъ, всячески мѣнялъ рас-орядокъ цѣлаго, и только тогда оставался сколько-нибудь доволенъ. Но въ такомъ тщательномъ редактированіи работы есть великая польза для автора. Оно побуждаетъ точнѣйшимъ образомъ провѣрять каждое положеніе, каждый выводъ, съ еще большимъ вниманіемъ, чѣмъ для изустныхъ лекцій въ университетѣ. Я никогда не считалъ своего изслѣдованія законченнымъ, пока оно не лежало предо мною въ письменномъ изложеніи, въ полномъ видѣ и безъ логическихъ пробѣловъ.

При этомъ, какъ собственная совѣсть, стояли передъ моимъ умственнымъ взоромъ наиболѣе знающіе изъ числа друзей; я задавалъ себѣ вопросъ, заслужу ли ихъ одобреніе. Они витали предо мною, какъ воплощеніе научнаго духа идеальнаго челоуѣчества; они давали мнѣ необходимое мѣрило.

Вспоминая первую половину жизни, когда еще приходилось работать ради внѣшняго положенія, не скажу, чтобъ и тутъ, рядомъ съ потребностью знанія и чувствомъ служебнаго долга, не дѣйствовали и болѣе высокія этическія побужденія; но во всякомъ случаѣ, было труднѣе убѣдиться въ ихъ содѣйствіи, пока къ работѣ призывали эгоистическіе мотивы. Думаю, то же бываетъ и съ другими изслѣдователями. Но зато позже, когда положеніе обезпечено, когда человѣкъ безъ внутренняго влеченія къ работѣ можетъ вовсе перестать работать,—для тѣхъ, кто и дальше работаетъ, болѣе высокое сознаніе своихъ отношеній къ человѣчеству выступаетъ на передній планъ. Мало-по-малу изъ собственнаго опыта слагается представленіе о томъ, какимъ образомъ мысли, нами пущенныя въ ходъ—будетъ ли то путемъ литературы, или изустнаго преподаванія—какъ эти мысли продолжаютъ дѣйствовать среди современниковъ, продолжаютъ какъ бы жить самостоятельною жизнью; какъ онѣ разрабатываются далѣе нашими учениками, получаютъ болѣе богатое содержаніе и болѣе прочную форму, и намъ самимъ, въ свою очередь, приносятъ новое поученіе. Естественнo, что собственныя идеи каждаго прочнѣе, чѣмъ чужія, связаны со всѣмъ его умственнымъ кругозоромъ, и, слѣдя за развитіемъ этихъ своихъ мыслей, онъ чувствуетъ себя болѣе ободреннымъ и удовлетвореннымъ. Ко всякому такому дѣтищу ума у родителя развивается подъ конецъ своего рода отцовская любовь; она побуждаетъ его такъ же хлопотать и ратовать за этихъ чадъ, какъ и за настоящихъ дѣтей по плоти.

Но въ то же время передъ научнымъ дѣятелемъ выступаетъ вся совокупная мысль цивилизованнаго человѣчества, какъ одно живущее и развивающееся цѣлое, чья жизнь представляется вѣчностью въ сравненіи съ короткимъ жизненнымъ срокомъ каждаго отдѣльнаго лица. Онъ видитъ себя, со своими скромными трудами на пользу науки, поставленнымъ на служеніе вѣчному и святому дѣлу, къ которому привязанъ тѣсными узами любви. Собственная работа освящается для него этимъ сознаніемъ. Теоретически понять это съумѣетъ, быть-можетъ, всякій; но чтобъ это пониманіе развилось до степени нравственнаго чувства—нуженъ собственный опытъ.

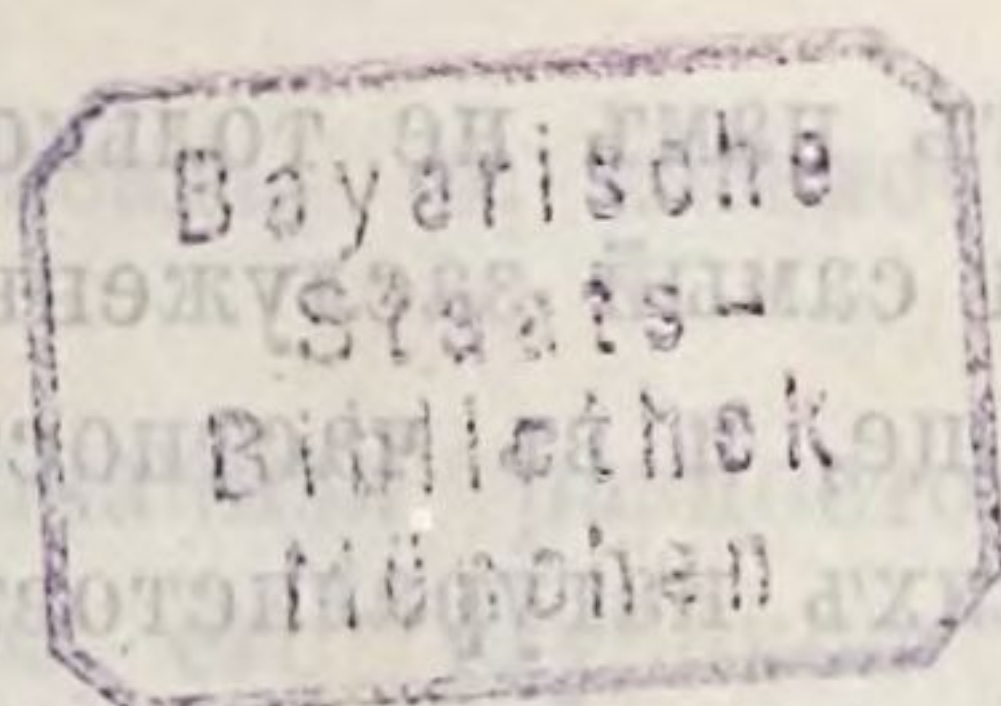
Свѣтъ, неохотно вѣрующій въ идеальныя побужденія, зоветъ это чувство славолюбіемъ. Но есть рѣшительный признакъ, чтобъ различить эти два настроенія. Задай себѣ вопросъ: все ли равно тебѣ, будутъ ли признаны твоими, или нѣтъ, результаты твоихъ изысканій?—буде съ отвѣтомъ на этотъ вопросъ уже не связаны какія-либо соображенія о внѣшней выгодѣ. По отношенію къ руководителямъ лабораторій, отвѣтъ особенно ясенъ. Учителю постоянно приходится отдавать другимъ и главную идею работы, и множество совѣтовъ, какъ преодолѣть новыя экспериментальныя препятствія,—совѣтовъ, требующихъ большей или меньшей изобрѣтательности. Все это переходитъ въ работу ученика, и подъ-конецъ, если работа удалась, публикуется отъ его имени. Кто потомъ разберетъ, чтò внесъ одинъ, чтò—собственность другаго? А развѣ мало учителей, которые въ этомъ отношеніи свободны отъ всякаго ревниваго чувства?

Итакъ, Мм. Гг., я былъ настолько счастливъ, что, свободно слѣдуя врожденной склонности, втягивался въ работы, за которыя вы меня хвалите, утверждая, что находили въ нихъ пользу и поученіе. Я очень счастливъ, что за ту дѣятельность, которая выбрана мною, какъ наиболѣе меня интересующая, я въ добавокъ получаю столь обильное одобреніе и благодарность современниковъ. Но въ свою очередь и современники сдѣлали для меня много существеннаго. Не говоря уже о томъ, что они сняли съ меня внѣшнюю заботу о собственномъ существованіи и о семьѣ, не говоря о тѣхъ внѣшнихъ пособіяхъ, какія я получалъ отъ нихъ,—я нашелъ въ нихъ мѣрило духовныхъ способностей человѣка; а участіе къ моимъ работамъ будило во мнѣ живой образъ совокупной духовной жизни идеальнаго человѣчества, и чрезъ это яснѣе освѣщало мнѣ значеніе моихъ собственныхъ усилій. При этихъ условіяхъ, на ту благодарность, какую вамъ угодно было мнѣ выразить, я могу смотрѣть лишь какъ на свободный даръ любви,—даръ безъ оцѣнки возмездія, безъ расчета на обязательство.

Горячо желалось бы выразить вамъ всѣмъ мою возвратную благодарность, ибо самъ я во всякомъ случаѣ чувствую за собой этотъ долгъ. Но еслибъ я пригласилъ васъ выпить за ваше собственное

благополучіе, я не нашелъ бы инаго отклика, кромѣ моего собственнаго слабаго голоса. Позвольте же мнѣ на ваше мѣсто, какъ вашихъ представителей, выставить членовъ Распорядительнаго Комитета, устроившаго этотъ праздникъ. Этимъ друзьямъ моимъ выпала на долю громадная работа, и они въ особенной мѣрѣ заслуживаютъ благодарности—и вашей, и моей.

За здоровье Гг. Дюбуа-Реймона, Кронеккера, Кундта, Мендельсона-Бартольди и Целлера!



I. Біографіческій очеркъ и общая характеристика.

Мм. Гг.

Какъ ближайшій организаторъ ряда лекцій, открываемаго профессорами Московскаго Университета въ честь своего почетнаго сочлена, Германа фонъ-Гельмгольца, считаю долгомъ прежде всего разъяснить мотивы и планъ нашего предпріятія.

31-го (19-го) августа нынѣшняго (1891) года исполнится семьдесятъ лѣтъ жизни великаго ученаго и учителя многихъ поколѣній. Блестящіе труды его наполняютъ собою половину XIX столѣтія ¹⁾ и составляютъ крупную долю въ томъ наслѣдіи, какое нашъ вѣкъ передастъ вѣкамъ грядущимъ.

Въ виду того, въ Берлинѣ еще истекшею зимою образовался комитетъ, который вскорѣ сталъ международнымъ. Приглашеніе почтить маститаго дѣятеля, покрытое 170 подписями ученыхъ Европы и Америки, предполагаетъ: увѣковѣчить въ мраморномъ бюстѣ внѣшній обликъ чествуемаго и—основать фондъ для *международной медали имени Гельмгольца*, которая будетъ присуждаться за выдающіяся изслѣдованія по тѣмъ областямъ науки, гдѣ работалъ Гельмгольцъ, безъ различія національности авторовъ.

Упреждая дѣйствительный юбилей, мы желаемъ заранѣе и въ болѣе удобное для того время познакомить не-спеціалистовъ со значеніемъ работъ Гельмгольца и во-время внести московскій вкладъ въ пользу учреждаемаго фонда ²⁾.

¹⁾ Докторская его диссертация появилась въ 1842 году.

²⁾ Срокомъ поступленія взносов назначенъ былъ конецъ апрѣля новаго стиля. Лекціи читаны 4-го, 7-го и 11-го апрѣля 1891 года.

Гельмгольтцъ дорогъ намъ не только какъ геніальный ученый: онъ—въ то же время самый заслуженный изъ современныхъ насадителей науки вообще, и въ частности—въ нашемъ отечествѣ. Многіе десятки русскихъ натуралистовъ и врачей, получившихъ извѣстность своею общественною дѣятельностью и учеными трудами, обязаны своимъ спеціальнымъ образованіемъ Гельмгольтцу. Значеніе его въ качествѣ международнаго учителя, думаю, ни для одной страны (кромѣ родной ему Германіи) не было такъ велико, какъ для Россіи.

Долгіе годы руководя лабораторіями,—сперва какъ фізіологъ, потомъ какъ физикъ,—Гельмгольтцъ производилъ неотразимое вліяніе своей могучей личностью на молодыхъ людей, отовсюду стекавшихся къ нему на выучку. «Кто разъ пришелъ въ соприкосновеніе съ человѣкомъ первокласснымъ, у того духовный масштабъ измѣненъ навсегда,—тотъ пережилъ самое интересное, что можетъ дать жизнь»... Эти слова говорилъ самъ Гельмгольтцъ, вспоминая о своемъ учителѣ Іоганнѣ Мюллерѣ; эти слова повторить каждый изъ его учениковъ при мысли о Гельмгольтцѣ.

Но не только спеціалиста-ислѣдователя, спеціалиста-учителя, мы чтимъ въ томъ человѣкѣ, именемъ котораго призываемъ васъ на наши бесѣды. Передъ нами явленіе вполне исключительное, натура истинно титаническая,—человѣкъ первоклассный изъ первоклассныхъ. Тутъ дѣйствительно есть мѣсто для чествованія международнаго и всенароднаго, для горячаго и восторженнаго привѣта,—не только отъ ученыхъ, не только отъ учениковъ, но и отъ всѣхъ тѣхъ, кому—выше всѣхъ спеціальныхъ отраслей человѣческаго знанія—дорогъ *разумъ*, породившій знаніе, дорогъ *идеалъ* *человѣка*, какъ воплощенной разумности.

Сперва практическій врачъ, потомъ, поочередно, профессоръ анатоміи и патологіи, фізіологіи, физики,—геніальный фізіологъ и физикъ съ глубокимъ фондомъ математическихъ познаній,—Гельмгольтцъ является, прежде всего, представителемъ единства и цѣльности *естествознанія* въ гораздо большей мѣрѣ, чѣмъ нѣкогда былъ знаменитый Гумбольдтъ. Прибавимъ, что въ наше время, вслѣдствіе особенно быстрого роста отдѣльных частей естествовѣденія, такая универсальность—не дилеттанта, не компилятора, а *ислѣдователя*, пролагающаго новые пути—стала много труд-

нѣе, чѣмъ полѣтка тому назадъ, и, казалось бы, далеко не по силамъ одной личности.

Но и этого мало. Необычайная разносторонность этой феноменально одаренной натуры, его глубокое философское образованіе, его живое чутье къ поэзіи и искусству, ко всему, что возвышаетъ и краситъ жизнь,—все это даетъ особый колоритъ научному творчеству Гельмгольца, особый вѣсъ его словамъ, даже внѣ широкаго круга естественныхъ наукъ. На ряду съ «логической индукціей», столь характерной для естествознанія, онъ обладаетъ въ высокой степени и тою, по его собственному выраженію, «художественной индукціей» (*künstlerische Induction*), которая проявляется въ созданіяхъ искусства. «Взглядъ художника,—тотъ взглядъ, который такихъ людей, какъ Гёте и Леонардо да-Винчи, и въ наукѣ приводилъ къ великимъ идеямъ,—долженъ быть у всякаго истиннаго изслѣдователя»,—говоритъ самъ Гельмгольтцъ,—и самъ онъ служитъ живымъ образцомъ этого дара.

Среди своихъ ученыхъ трудовъ, онъ берется порою за тѣ именно, особенно сложные, вопросы, гдѣ естествознаніе не довольствуется самому себѣ и соприкасается съ цикломъ наукъ о духѣ. Никогда до Гельмгольца вторженіе натуралиста въ область психологіи и искусства не было сдѣлано такъ властно, такъ твердо и въ то же время съ такимъ тонкимъ чувствомъ мѣры, никогда не сопровождалось оно такимъ блистательнымъ и бодрящимъ душу успѣхомъ. Въ этомъ отношеніи, среди разнообразныхъ трудовъ Гельмгольца, его изслѣдованія о зрѣніи и о слухѣ представляются мнѣ наиболѣе оригинальною частью его вклада, центральнымъ пунктомъ его научнаго подвига.

Уже собраніе популярныхъ лекцій и рѣчей Гельмгольца (*Vorträge und Reden*) даетъ понятіе объ этой универсальности автора. Нельзя перечитывать безъ наслажденія эти художественные эскизы. Одни изъ нихъ посвящены болѣе спеціально работамъ самого Гельмгольца по физикѣ и физиологіи, съ отступленіями въ область психологіи и эстетики, живописи и музыки. Въ другихъ—авторъ бросаетъ взглядъ на широкія задачи культуры: то говоритъ онъ о взаимномъ отношеніи различныхъ наукъ, то о свободѣ университетовъ; тамъ слѣдитъ за исторіей медицинскаго мышленія, здѣсь

анализируетъ Гёте какъ поэта-натуралиста. И вездѣ слово его вѣско, трезво и глубоко.

Вотъ эта-то *универсальность* представляетъ особенно характерную и удивительную сторону чествуемаго нами ученаго. Среди растущихъ усложненій человѣческой культуры, среди безчисленныхъ развѣтвленій науки, техники и всѣхъ сторонъ дѣятельности человѣка, жизнь каждаго проходитъ въ узкихъ рамкахъ, уподобляя его одному колесу въ безконечно сложной машинѣ. Счастливы тотъ, кто съ любовью выполняетъ свое скромное дѣло; но потребность широкихъ взглядовъ и симпатій неизгладима и драгоцѣнна. Это не одна, такъ-сказать, фізіологическая потребность отдыха и разнообразія, не только голосъ умственной гигиены: это — законное стремленіе духа жить цѣльной жизнью и жизнью цѣлаго, чувствовать себя не пассивнымъ, а разумнымъ соучастникомъ въ общей работѣ. Не безъ борьбы, не безъ припадковъ унынія, стараешься примирить въ себѣ частное съ общимъ. И здѣсь-то люди, которые, благодаря особой даровитости, служатъ живымъ примѣромъ такого примиренія, — люди подобные Гельмгольтцу, — получаютъ особую цѣну въ нашихъ глазахъ. Глядя на нихъ, видишь во-очію осуществленіе завѣтнаго идеала, видишь, что многосторонность не всегда есть безплодный дилеттантизмъ, что упорное изученіе спеціальныхъ задачъ не закрываетъ душу для широкихъ горизонтовъ.

Не всякій, даже спеціалистъ-естествоиспытатель, охватить во всемъ объемѣ и съ ясной оцѣнкой тотъ рядъ трудовъ, который явился плодомъ неустанной 50-лѣтней дѣятельности такого колоссальнаго ума. Каждый изъ насъ, присяжныхъ представителей науки, взявшихся говорить о Гельмгольтцѣ, детально разучилъ лишь ту или другую часть его богатаго творенія. Но всякому полезно и радостно знать, до какой широты духовнаго развитія способенъ подняться человѣкъ; какъ бодро, умѣло и успѣшно справляется онъ съ океаномъ окружающихъ его вопросовъ, догадокъ и сомнѣній, внимательно всматриваясь въ мелочи и не теряя изъ виду общихъ перспективъ. Всякому поучительно познакомиться и съ самымъ содержаніемъ этой работы: въ ней выразился нашъ моментъ въ исторіи мысли, широкій умственный охватъ истекающаго XIX-го столѣтія.

Задачею послѣдующихъ лекцій будетъ — очертить въ отдѣльности главнѣйшія изъ научныхъ работъ Гельмгольца. Нѣкоторыя изъ нихъ, какъ было указано, представлены въ сжатой и общедоступной формѣ въ его «Vorträge und Reden». Акустическія изслѣдованія обработаны въ великолѣпной книгѣ «Ученіе о слуховыхъ ощущеніяхъ», доступной для всякаго любителя серьезнаго чтенія. Указаніе на эти источники пусть облегчитъ и дополнитъ нашу работу. Но если живое слово, освѣщеніе его опытомъ или рисункомъ и нѣкоторая систематизація матеріала помогутъ вамъ въ усвоеніи общихъ результатовъ ученой дѣятельности Гельмгольца, то нашъ трудъ не будетъ лишнимъ. Въ предстоящіе три вечера придется ограничиться самыми общими очерками: болѣе подробное изложеніе потребовало бы гораздо болѣе продолжительнаго времени.

Мнѣ остается указать на внѣшнія черты жизни Гельмгольца и прослѣдить общій ходъ его научныхъ изслѣдованій.

Длинныхъ біографическихъ указаній я не могу предложить. Не извнѣ, а изнутри богата эта жизнь.

Германъ-Людвигъ-Фердинандъ фонъ-Гельмгольтцъ родился 31-го (19-го) августа 1821 года въ Потсдамѣ, гдѣ отецъ его, Фердинандъ Гельмгольтцъ, былъ учителемъ гимназіи. Мать, Каролина, урожденная Пеннъ, происходила изъ англійской семьи, выселившейся въ Германію. Скромныя средства отца побуждали дать сыну медицинское образованіе. Съ 1838 года молодой Германъ, въ качествѣ воспитанника (élève) медико-хирургическаго института, слушаетъ лекціи въ Берлинскомъ университетѣ. Уроки знаменитаго Іоганна Мюллера привлекаютъ его особенно къ изученію анатоміи и фізіологіи. 2-го ноября (21-го октября) 1842 г. Гельмгольтцъ получаетъ степень доктора медицины, по защитѣ диссертациі «De fabrica systematis nervosi everteborum», и становится ординаторомъ въ берлинской больницѣ Charité, а въ 1843 г. — военнымъ врачомъ въ Потсдамѣ. Въ 1848 г., уже по изданіи своей брошюры «Ueber die Erhaltung der Kraft» (1847 г.), полагающей начало его знаменитости, онъ приглашается въ Берлинъ ассистентомъ при анатомическомъ музеѣ и преподавателемъ анатоміи при академіи художествъ, а въ слѣдующемъ 1849 году — профессоромъ

физиологии и общей патологии (сперва экстраординарнымъ, а съ 1852 г.—ординарнымъ) въ Кёнигсбергскомъ университетѣ. Въ 1855 г. онъ переходитъ на ту же кафедру въ Боннъ, а въ 1858 г.—въ Гейдельбергъ, гдѣ остается до 1871 года.

На это время профессорства въ Кёнигсбергѣ, Боннѣ и Гейдельбергѣ (1849—1871 г.) приходится наибольшее число работъ Гельмгольца, которыя, возникая бѣльшею частью на почвѣ физиологии чувствъ, переходили въ область чистой физики и даже теоретической механики. Все это время Гельмгольцъ руководитъ физиологическими работами (особенно въ Гейдельбергѣ, гдѣ при немъ открыто новое зданіе физическаго и физиологическаго институтовъ, такъ - называемое «Friedrichsbau»)¹⁾, и большое число біологовъ и врачей (въ томъ числѣ много русскихъ) перебивали въ его школѣ²⁾.

Съ 1870 г. Берлинскій университетъ начинаетъ притягивать къ себѣ лучшія научныя силы Германіи. Два гейдельбергскихъ корифея—сперва Гельмгольцъ (1871 г.), а потомъ и Кирхгоффъ—перешли въ Берлинъ, и только третій изъ знаменитой триады, Бунзенъ, остался вѣренъ берегамъ Неккара.

Въ Берлинѣ Гельмгольцъ, уже давно знаменитый какъ физикъ, впервые выступаетъ оффиціально профессоромъ этой науки. Первые годы ему приходится дѣйствовать въ сравнительно небольшой и неудобной лабораторіи, устроенной при его предшественникѣ Магнусѣ въ главномъ корпусѣ университета. Лабораторія Магнуса³⁾ была *первою*, по времени основанія, университетскою лабораторіею для физики въ Европѣ⁴⁾, и Гельмгольцъ—вторымъ ея руководителемъ. Въ 1874 г. для физическаго и физиологическаго институтовъ при Берлинскомъ университетѣ открыто новое зданіе (на углу Dorotheenstrasse и Neue Wilhelmstrasse),

¹⁾ Въ 1875 г., физиологическій институтъ вновь переселился въ отдѣльное зданіе.

²⁾ Изъ русскихъ: проф. Е. Адамюкъ, проф. Н. Бакстъ, М. Воиновъ (†), проф. Л. Гиршманъ, проф. И. Догель, проф. В. Дыбковскій (†), проф. О. Заварыкинъ, проф. А. Ивановъ (†), С. Ламанскій, проф. Е. Мандельштаммъ, В. Розовъ (†), проф. И. Съченовъ, проф. А. Ходинъ, проф. О. Шереметевскій († 1891 г.), проф. Э. Юнге и др. (Не ручаемся за полноту списка).

³⁾ Прежде того она помѣщалась на квартирѣ Магнуса (на улицѣ Kupfergraben).

⁴⁾ Если не считать гёттингенской, специально устроенной для магнитныхъ наблюденій.

стоившее до 7 милліоновъ маркъ,—до сихъ поръ величайшій и роскошнѣйшій изъ институтовъ этого рода.

Въ Берлинѣ дѣятельность Гельмгольца, понятно, принимаетъ нѣсколько иной характеръ, и учениками его являются уже исключительно молодые физики ¹⁾. Тяжелый трудъ руководства физическимъ институтомъ Гельмгольца несетъ до 1888 г., а потомъ, оставаясь профессоромъ физики и сдавъ институтъ перешедшему изъ Страсбурга въ Берлинъ профессору Кундту, назначается президентомъ вновь устроеннаго «Physikalisch-technische Reichsanstalt» въ Шарлоттенбургѣ (близъ Берлина). Это—государственная лабораторія для изслѣдованій и измѣреній (между прочимъ, для вывѣрки мѣръ, вѣсовъ и другихъ эталоновъ), не имѣющая педагогическаго характера,—нѣчто въ родѣ севрскаго «Bureau des Poids et Mesures».

Излишне говорить, что Гельмголецъ состоитъ членомъ всѣхъ главныхъ академій Европы и имѣетъ множество почетныхъ отличій всякаго рода: эти титулы ничего не прибавляютъ къ блеску такого имени ²⁾. Въ 1883 г. онъ возведенъ германскимъ императоромъ въ дворянство,—почесть, весьма цѣнимая въ Германіи,—и съ тѣхъ поръ именуется фонъ-Гельмголецъ.

Гельмголецъ женатъ во второмъ бракѣ. Супруга его извѣстна какъ переводчица нѣсколькихъ популярныхъ книгъ по естествознанію (подъ инициалами А. Н.). Въ 1889 году онъ имѣлъ несчастіе потерять сына Роберта, въ самомъ началѣ его ученой карьеры, обѣщавшемъ выдающагося физика.

Говоря о дѣятелѣ столь многообъемлющемъ и еще современномъ, трудно прослѣдить генезисъ его работъ; руководясь хронологическимъ порядкомъ и внутреннею связью ихъ, можно сдѣлать лишь нѣкоторыя общія замѣчанія и догадки.

¹⁾ Изъ русскихъ: проф. П. Зилъ, проф. Р. Колли († 1891 г.), В. Михельсонъ, проф. А. Соколовъ, проф. Н. Шиллеръ и др.

²⁾ Въ эпохи самаго страстнаго шовинизма въ Германіи, Гельмголецъ ни разу не позволялъ себѣ тѣхъ рѣзкихъ выходокъ противъ Франціи, отъ какихъ не свободны даже люди какъ Вирховъ, Дюбуа-Реймонъ, Штраусъ. Въ прошломъ (1890) году, присутствуя какъ делегатъ Берлинскаго университета на празднованіи 600-лѣтія университета въ Монпелье, онъ былъ предметомъ восторженныхъ овацій со стороны французовъ.

Въ своемъ первомъ періодѣ (1842—1871 г.) Гельмгольтцъ является *физиологомъ* по преимуществу, не только по занимаемой кафедрѣ, но и по общему теченію своихъ работъ. Не опуская изъ виду задачъ *физиологической динамики* и глубокихъ вопросовъ о дѣятельности органовъ чувствъ, онъ какъ бы по пути даетъ первоклассныя изслѣдованія въ области механики и физики.

Съ одной стороны, его—какъ и другаго дорогаго физикамъ врача (Ю. Р. Майера)—вопросы о животной теплотѣ, о химическихъ процессахъ въ живомъ и мертвомъ организмѣ, подводятъ къ великому «началу сохраненія энергіи» ¹⁾. Это начало, въ смыслѣ общаго *физическаго* закона, которому подчиняются *всѣ* явленія природы, какъ безжизненной, такъ и живой, входитъ въ сознаніе именно въ 40-хъ годахъ, съ реформою ученія о теплотѣ, вызванною въ особенности опытами Джауля. Подготовленъ этотъ законъ былъ издавна, на тѣсной почвѣ механики; но всеобщую примѣнимость его впервые смутно почувствовалъ Майеръ, и въ строгой формѣ выразилъ Гельмгольтцъ, въ то время еще 26-лѣтній потсдамскій врачъ; о размышленіяхъ Майера онъ не зналъ, и лишь къ концу своего труда познакомился съ первыми опытами Джауля. Съ тѣхъ поръ начало сохраненія энергіи, подкрѣпляемое самыми разносторонними изслѣдованіями, постепенно получаетъ значеніе надежной путеводной нити для всего естествознанія.

Важное значеніе Гельмгольца въ открытіи этого закона вполне бесспорно, хотя самъ онъ опредѣляетъ свою роль какъ «научное формулированіе» закона. Но и теперь еще встрѣчаются порою недоразумѣнія. Одни (даже самъ Майеръ!) находятъ, что законъ высказанъ еще Гейгенсомъ, безъ малаго за двѣсти лѣтъ. Теорему абстрактной механики о томъ, что силы извѣстнаго характера удовлетворяютъ такъ - называемому «уравненію живыхъ силъ», смѣшиваютъ при этомъ съ утвержденіемъ физики, что *всѣ* силы въ природѣ *дѣйствительно* таковы, какими условно предполагались въ теоремѣ. Другіе, чувствуя, что сказано что-то новое, но видя, что мысль старая, а фактовъ новыхъ не прибавлено,—недоумѣ-

¹⁾ Въ своихъ первыхъ трудахъ Гельмгольтцъ говоритъ о сохраненіи *силы* (Erhaltung der Kraft), условно употребляя слово *сила* въ томъ смыслѣ, для котораго нѣсколько позже вошелъ въ употребленіе терминъ *энергія*.

ваютъ, въ чемъ же именно *открытие*? Въ томъ, что старые факты подведены подъ старую идею?—Да; *только* въ томъ, что теперь *все* старые факты подведены подъ идею, найденную когда-то для *немногихъ*, и твердо высказано убѣжденіе, что *все* новые подойдутъ подъ нее же, что и оправдывается съ тѣхъ поръ на каждомъ шагѣ. Кажется, немного,—а на самомъ дѣлѣ колоссальное открытие! «Въ типографскихъ кассахъ наборщика,—говоритъ Гельмгольтцъ,—свалена вся мудрость міра,—все, что уже открыто и что можетъ быть открыто когда-либо: надо *только* сѣумѣть подобрать буквы!»

Насколько *новыми* казались эти *старыя мысли* въ сороковыхъ годахъ,—видно изъ того, что статью Гельмгольца: «Ueber die Erhaltung der Kraft», не рѣшился помѣстить редакторъ спеціально-физическаго журнала (Поггендорфъ), и молодой врачъ напечаталъ ее отдѣльной брошюрой (1847 г.) ¹⁾. Впослѣдствіи этотъ небольшой этюдъ (72 страницы) сталъ началомъ европейской славы для автора.

Далѣе, занятія нервною системой и ея отправленіями (начиная уже съ докторской диссертациі) ведутъ Гельмгольца двумя длинными путями, чрезъ механику и физику, къ исчерпывающей разработкѣ ученія о зрѣніи и о слухѣ.

Идя по *первому* пути, онъ мимоходомъ даетъ физикѣ изслѣдованіе о смѣшеніи цвѣтовъ, доказательство видимости ультрафіолетовыхъ лучей, опроверженіе Брюстеровъ ученія о тройномъ составѣ спектра и великолѣпныя физико-математическія главы своей «Физиологической Оптике» (Handbuch der physiologischen Optik, 1-е изд. начато 1856, кончено 1867 г., 2-е изд. печатается теперь). Эта объемистая книга (около 900 страницъ) содержитъ полный сводъ литературы предмета—и нѣтъ въ ней страницы, куда геній автора не внесъ бы новаго освѣщенія: удивительное сліяніе кропотливаго труда и глубокой оригинальности. Здѣсь нашли мѣсто *все* тѣ изслѣдованія Гельмгольца, которыя произвели эпоху въ офталмологіи: его

¹⁾ 23 іюля (н. ст.) 1847 г. статья сообщена въ Берлинскомъ Физическомъ Обществѣ, возникшемъ въ 1845 г. изъ кружка молодыхъ физиковъ, собиравшихся у Магнуса. Гельмгольтцъ былъ однимъ изъ членовъ-основателей этого общества и много лѣтъ участвовалъ въ его изданіи «Fortschritte der Physik» своими превосходными рецензіями.

глазное зеркало (1851 г.), позволившее разсматривать внутренность глаза; теорія аккомодациі (приспособленія глаза къ разстояніямъ); ученіе о цвѣтовыхъ ощущеніяхъ; анализъ движеній глаза, и пр. Изученіе психической стороны зрѣнія приводитъ Гельмгольца, въ отдѣльныхъ этюдахъ, къ вопросамъ объ основныхъ аксіомахъ геометріи.

Другой путь ведетъ нашего изслѣдователя въ область слуховыхъ ощущеній. Находя крупные недочеты въ физической теоріи распространенія звука, онъ разрабатываетъ за-ново теорію звучащихъ трубъ, даетъ новый взглядъ на «біенія» и на «комбинаціонные тоны» и открываетъ новую категорію этихъ послѣднихъ. Тутъ же, вѣроятно—тоже по пути, возникаютъ классическія изслѣдованія по гидродинамикѣ вообще, въ томъ числѣ знаменитый мемуаръ о вихревыхъ движеніяхъ жидкости (1858 г.). Въ предметѣ, занимавшемъ Лагранжа и Эйлера, Гельмгольцъ сумѣлъ найти новую сторону, разработалъ ее съ замѣчательной наглядностью и изяществомъ, и далъ тему для многихъ позднѣйшихъ изысканій ¹⁾. Проникая, далѣе, въ фізіологическую сторону акустики, Гельмгольцъ доказываетъ способность уха анализировать звукъ на «простые тоны», устанавливаетъ объясненіе «тембра» звуковъ (впервые намѣченное Омомъ), иллюстрируя его искусственнымъ синтезомъ гласныхъ буквъ, и подвергаетъ подробному обзору роль частей слуховаго органа.

Здѣсь мы подходимъ къ преддверію музыкальнаго искусства. Упомянутые факты даютъ Гельмгольцу возможность формулировать рѣшеніе загадки, ведущей начало отъ Пифагора: какъ и почему мы ощущаемъ консонансъ и диссонансъ музыкальных звуковъ? Обладаніе техникой и литературой музыки позволяетъ автору не ограничиться общими чертами разъясненія: онъ съ любовью и мастерствомъ развиваетъ его въ приложеніи къ вопросамъ о гаммахъ и аккордахъ, о веденіи голосовъ и гармонизациі, пропагандируетъ возвращеніе къ натуральному строю и полагаетъ

¹⁾ Упомянемъ объ остроумной гипотезѣ В. Томсона, по которой атомы обыкновеннаго вещества суть вихри нѣкоторой совершенной жидкости, наполняющей вселенную.

краеугольный камень для будущей «физиологической» теории музыки». Все это изложено въ трактатѣ: «Ученіе о слуховыхъ ощущеніяхъ, какъ физиологическая основа для теории музыки» (*Die Lehre von den Tonempfindungen, als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*, 1-е изд. 1863 г., 4-е изд. 1877 г.). Объ этой книгѣ безъ преувеличенія сказано, что она даетъ для акустики то, что Ньютонъ «Principia» дали для астрономіи.

Рядомъ съ разработкой двухъ фундаментальныхъ вопросовъ физиологіи чувствъ,—науки, можно сказать, созданной Гельмгольцомъ,—онъ, въ связи съ нѣкоторыми изслѣдованіями по электричеству, впервые измѣряетъ быстроту, съ какою распространяется раздраженіе по нервамъ,—время, въ теченіе котораго чувственное впечатлѣніе доходитъ до сознанія, импульсъ воли передается мускуламъ. Нѣтъ надобности говорить о важности и оригинальности этого результата. Существовавшій предразсудокъ о крайней быстротѣ такихъ процессовъ былъ опровергнутъ рядомъ простыхъ и убѣдительныхъ опытовъ.

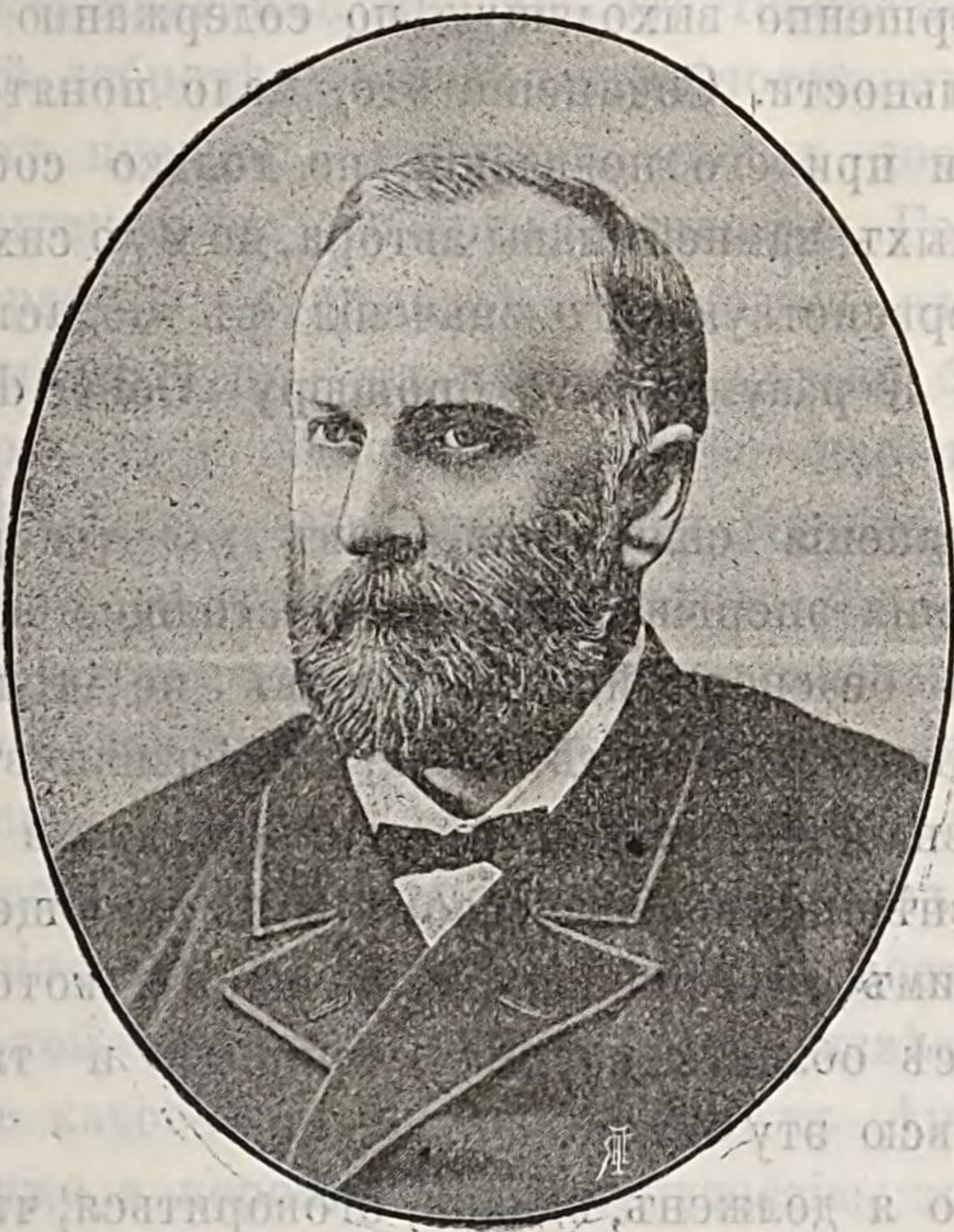
Въ позднѣйшемъ, берлинскомъ періодѣ своей дѣятельности (съ 1871 г.), Гельмгольцъ сосредоточивается на наукахъ собственно физическихъ. За эти 20 лѣтъ мы имѣемъ рядъ изслѣдованій по теории электричества, новое освѣщеніе трудныхъ вопросовъ электрохиміи и термохиміи, новыя работы по механикѣ, теорію аномальной дисперсіи свѣта, изслѣдованіе объ энергіи вѣтра и волнъ, и пр., и пр. Въ бѣгомъ очеркѣ трудно даже обозначить сколько-нибудь яснѣе темы этихъ работъ. Укажу только, что своими критическими трудами по электродинамикѣ Гельмгольцъ способствовалъ паденію теории «дѣйствій на разстояніи»; его собственная теорія электричества примыкаетъ къ идеямъ Фарадея и Максвелла, вводя участіе «среды» (эѳира). Остановившись, далѣе, на нѣкоторыхъ загадочныхъ явленіяхъ при электролизѣ (разложеніи жидкостей электрическимъ токомъ), онъ упорно работаетъ надъ этими вопросами (съ 1873 г.) и по поводу ихъ развиваетъ (1882 г.) весьма важный «принципъ свободной энергіи», вытекающій изъ двухъ основныхъ законовъ механической теории теплоты; этому принципу несомнѣнно предстоитъ широкая роль въ физической химіи.

Работы Гельмгольца съ 1842 по 1882 г. (кроме упомянутых отдѣльных книгъ по оптикѣ и акустикѣ) собраны въ двухъ большихъ томахъ «Wissenschaftliche Abhandlungen».

Такова, въ бѣгомъ очеркѣ, дѣятельность человека, котораго — также какъ и Ньютона — справедливо можно назвать «украшеніемъ рода человѣческаго»¹⁾.

А. Столѣтовъ.

¹⁾ *Humani generis decus* (слова изъ эпитафіи Ньютона въ Вестминстерскомъ Аббатствѣ).



Р. А. Колли (р. 25 іюня 1845, † 2 августа 1891 г.).

II. Сохранение энергии.

Мм. Гг.

Вы сейчас выслушали краткій очеркъ жизни и дѣятельности Гельмгольца, сдѣланный проф. Столѣтовымъ. Изъ этого очерка вы могли уже видѣть, насколько плодотворна и вмѣстѣ съ тѣмъ разнообразна была эта дѣятельность. Въ самыхъ разнородныхъ областяхъ, начиная съ физиологіи и даже гистологіи, и кончая труднѣйшими задачами математической физики, работы Гельмгольца всегда пролагали новые пути и часто составляли эпоху въ развитіи науки.

На мою долю выпало бесѣдовать съ вами о трудахъ этого ученаго изъ области общей физики, которые въ хронологическомъ порядкѣ являются въ числѣ первыхъ его трудовъ, да и по важности стоятъ на первомъ мѣстѣ. Въ 1847 г. молодой, 26-лѣтній врачъ, совершенно еще неизвѣстный ученому міру, Германъ Гельмгольтцъ, выпускаетъ въ свѣтъ небольшую книжку, скорѣе

брошюру, совершенно выходящую по содержанию изъ круга его прямой специальности. Сочиненіе это, мало понятое и оцѣненное современниками при его появленіи, не только составляетъ одинъ изъ краеугольныхъ камней славы автора, но и до сихъ поръ не утратило своего первенствующаго значенія въ области, къ которой оно относится. Я разумѣю его брошюру «Ueber die Erhaltung der Kraft».

Законъ сохраненія силы, или, какъ мы теперь выражаемся, законъ сохраненія энергіи, есть въ настоящее время одна изъ важнѣйшихъ и безспорнѣйшихъ основъ не только физики въ теперешнемъ тѣсномъ смыслѣ слова, но физики въ томъ общемъ и обширномъ значеніи, какое прежде придавали этому термину, т.-е. науки о внѣшнемъ физическомъ мірѣ вообще. Этотъ законъ является могучимъ объединяющимъ началомъ, которое связываетъ между собой всѣ области науки о природѣ и тянется красной нитью черезъ всю эту науку.

Прежде всего я долженъ, однако, оговориться, что Гельмгольтцъ (онъ самъ открыто признаетъ это) не былъ первымъ, кто печатно формулировалъ принципъ сохраненія энергіи. Два-три мемуара, принадлежащіе Ю. Р. Майеру, врачу въ Гейльброннѣ, и англійскому технику Джаулю, разсѣянные по журналамъ, — притомъ отчасти по такимъ, гдѣ менѣе всего пришло бы въ голову искать статей такого содержанія, — были уже обнародованы; мнѣ придется еще къ нимъ возвратиться. Но Гельмгольтцу они не были извѣстны; притомъ законъ сохраненія энергіи не былъ высказанъ въ нихъ съ той опредѣленностью, какъ впослѣдствіи формулировалъ его Гельмгольтцъ, да и доказательства въ пользу его были, по меньшей мѣрѣ, довольно шатки.

Много разъ была высказываема мысль, что въ рассматриваемую нами эпоху—40-е года текущаго столѣтія—идеи о неразрушимости энергіи носились, какъ говорится, въ воздухѣ. Можетъ быть и такъ; но во всякомъ случаѣ носителями этихъ идей были только люди, коихъ кругозоръ не былъ суженъ ходячей рутинной, которые видѣли дальше и глубже своихъ современниковъ. Большинство, масса, относилось къ этимъ идеямъ не только равнодушно, но даже враждебно. Достаточно сказать, что Поггендорфъ, — почтенный ученый, болѣе 50 лѣтъ издававшій извѣстный журналъ «An-

palen der Physik», памятный многимъ изъ теперешняго поколѣнія физиковъ по той добротѣ и снисходительности, съ которой онъ относился къ ихъ первымъ дебютамъ, иногда довольно посредственнымъ,—Поггендорфъ, говоря я, отказалъ Гельмгольтцу въ помѣщеніи его работы въ журналъ. «Съ этими идеями»—писалъ впоследствии Гельмгольтцъ,—въ то время трудно было рассчитывать на популярность и поощреніе; скорѣе наоборотъ». Другіе пионеры въ этой области, въ особенности Майеръ, о которомъ я сейчасъ упоминалъ, въ еще большей, можетъ быть, степени испытали на себѣ невыгоды положенія смѣлыхъ новаторовъ.

Я прежде всего постараюсь вкратцѣ, не стѣсняясь хронологическимъ порядкомъ и захватывая даже кое-что изъ того, что было сдѣлано послѣ Гельмгольца, объяснить вамъ главную суть закона сохраненія энергіи. Лучше сказать, я постараюсь напомнить значительной части изъ васъ эту суть, извѣстную каждому, кто имѣетъ хоть какое-либо прикосновеніе къ физическимъ наукамъ. Затѣмъ уже я перейду къ тому участию, которое принималъ собственно Гельмгольтцъ въ разработкѣ этого вопроса.

Моя задача въ извѣстной мѣрѣ облегчается тѣмъ, что въ моемъ изложеніи я могу слѣдовать отчасти самому Гельмгольтцу. Въ своихъ публичныхъ рѣчахъ и лекціяхъ онъ нерѣдко возвращался къ этой темѣ, преимущественно въ 50-хъ и 60-хъ годахъ, когда вопросъ былъ спорнымъ и требовалъ усиленной пропаганды.

Для ограниченнаго круга явленій чисто механическихъ законъ сохраненія энергіи извѣстенъ уже давно въ другой формѣ и подъ другимъ названіемъ, именно въ формѣ такъ-называемой теоремы живыхъ силъ, впервые опредѣленно высказанной въ срединѣ прошлаго столѣтія извѣстнымъ математикомъ Даніэлемъ Бернулли,—если не восходить еще далѣе, къ Гейгенсу и Ньютону.

Для яснаго уразумѣнія точнаго смысла закона, я долженъ начать нѣсколько издалека: я долженъ попросить васъ послѣдовать за мной на время въ довольно сухую, пожалуй скучную, область механическихъ понятій и опредѣленій. Но только когда мы пройдемъ ее, передъ нами можетъ открыться болѣе обширная перспектива, болѣе отрадная точка зрѣнія, съ которой ясно видна связь между разнообразнѣйшими и на первый взглядъ разрозненными явленіями природы.

Каждый изъ васъ, конечно, знаетъ, что такое водяная мельница. На рѣчкѣ или ручьѣ устраивается плотина, которая создаетъ нѣкоторую разность уровня воды между прудомъ и омутомъ; вода эта, выливаясь на мельничныя колеса, приводитъ ихъ въ движеніе. Благодаря этому, мельница *работаетъ*: размалываетъ муку, пилитъ дерево, и т. п. Вода, низвергающаяся внизъ, есть *двигатель*, заставляющій мельницу работать.

Я имѣю, конечно, въ виду не излагать вамъ трактатъ о мельницахъ, а только иллюстрировать мою мысль нагляднымъ примѣромъ; потому позвольте мнѣ остановиться на слѣдующемъ, нѣсколько исключительномъ, простѣйшемъ случаѣ.

Представимъ себѣ, что рѣчка, питающая мельничный прудъ, изсякла, или что мы имѣемъ мельницу такого типа, который нынѣ почти перевелся въ средней Россіи, но въ прежнее время встрѣчался нерѣдко,—мельницу, устроенную въ сухомъ оврагѣ и работающую водой, накопленной въ половодье. Въ этомъ случаѣ нашъ двигатель можетъ намъ доставить только опредѣленный, ограниченный запасъ работы. Какъ скоро мы выпустимъ столько воды, что она перестанетъ течь на колесо, этотъ запасъ будетъ израсходованъ, исчерпанъ, и мельница остановится.

Величина этого запаса работы, очевидно, зависитъ отъ двухъ факторовъ: во-первыхъ отъ количества воды, которую мы можемъ выпустить при этихъ условіяхъ (при количествѣ воды вдвое больше мы могли бы устроить двѣ снасти и получить вдвое больше работы); во-вторыхъ, зависитъ отъ высоты, съ которой вода низвергается. Мнѣ нечего говорить вамъ, что не что иное какъ вѣсъ этой воды, т.-е. та сила, съ которой тяжесть на нее дѣйствуетъ, играетъ здѣсь роль; мы можемъ поэтому сказать, что величина запаса работы зависитъ отъ вѣса воды и отъ высоты, съ какой вода опускается. Въ механикѣ этой величинѣ дается именно такого рода опредѣленіе: запасъ работы здѣсь будетъ вѣсъ воды, умноженный на высоту паденія.

Не только вода, но и всякое другое тяжелое тѣло, могущее спуститься съ высшаго уровня на низшій, представляетъ запасъ работы. Представимъ себѣ обыкновенныя стѣнные часы съ гирей. Заведя часы, т.-е. поднявши гирю, мы сообщаемъ имъ запасъ работы, благодаря которому механизмъ часовъ приходитъ въ дѣй-

ствіе. Когда гиря дойдетъ до полу, этотъ запасъ работы будетъ исчерпанъ, и часы остановятся.

Кромѣ тяжести мы можемъ воспользоваться и другими силами для той же цѣли. Напримѣръ, заведенная пружина точно также можетъ двигать часы, слѣдовательно также есть двигатель и также представляетъ запасъ работы.

Отъ двигателя перейдемъ къ *механизму*. Механизмъ ничего не можетъ прибавить къ запасу работы, доставляемому двигателемъ: онъ только его преобразуетъ, приспособляетъ къ данной цѣли.

Чтобы ясно понять это, представимъ себѣ опять-таки совсѣмъ исключительный случай: пусть работа двигателя, вмѣсто того чтобы молоть муку, употребляется на то, чтобы воду изъ омута накачивать въ прудъ. Ясно, что никогда мы не можемъ этимъ путемъ накачать ея больше, чѣмъ спустилось. Если бы это было такъ, это было бы осуществленіемъ «*perpetuum mobile*», — завѣтной химеры, которую такъ долго преслѣдовало человѣчество; ибо понятно, что запасъ работы въ этомъ случаѣ не только бы самъ собой пополнялся, но пополнялся бы съ *избыткомъ*, а этотъ избытокъ и можно бы было использовать для постороннихъ цѣлей.

Въ самомъ благопріятномъ и притомъ чисто идеальномъ, практически неосуществимомъ случаѣ, мы могли бы поднять кверху именно *столько* воды, сколько ея спустилось. Это было бы тогда, когда никакая часть работы не тратилась бы безвозвратно на постороннія дѣйствія — на преодоленіе тренія въ механизмѣ, и т. п. Въ этомъ случаѣ, дѣйствительно, изъ запаса работы *ничего бы не уничтожалось*, хотя также *ничего бы не создавалось*. Я подчеркиваю это обстоятельство. Вы сейчасъ увидите, что это одинъ изъ частныхъ примѣровъ примѣненія закона сохраненія энергіи.

Такъ какъ опусканіе воды (или вообще груза) внизъ и поднятіе того же груза кверху суть двѣ операціи противоположныя, дающія въ итогѣ нуль, то мы можемъ характеризовать ихъ противоположными знаками $+$ и $-$ и сказать, что при опусканіи груза сила тяжести совершаетъ положительную работу, во второмъ же случаѣ совершается работа отрицательная, или работа противъ силы тяжести.

Въ приведенныхъ примѣрахъ, — въ стѣнныхъ часахъ, въ мукомольной и пильной мельницѣ, — работа двигателя непосредственно и

непрерывно приложена къ механизму. Но могутъ быть случаи и иного рода, которые для насъ именно представляютъ особый интересъ. Такимъ является, напримѣръ, вколачиванье сваи въ грунтъ при помощи бабки. Подъ звуки классической «дубинушки», бабка поднимается рабочими кверху, затѣмъ отпускается. Приобрѣтя при паденіи извѣстную скорость, масса бабки ударяется о сваю и углубляетъ ее въ землю, совершая работу противъ силъ, сопротивляющихся этому углубленію. Если бы бабка просто лежала на сваѣ, она бы своей тяжестью ее не вдавила въ землю. Она ее не вдавлиываетъ, а *вколачиваетъ*, т.-е. совершеніе работы углубленія сваи возможно только благодаря тому, что масса бабки приобрѣла извѣстную скорость. Такимъ образомъ является представленіе о массѣ, летящей съ извѣстной скоростью, какъ о чемъ-то однородномъ съ работой,—эквивалентномъ работѣ. Работа тяжести при паденіи бабки идетъ въ концѣ концовъ на совершеніе работы углубленія сваи, но не непосредственно: она проходитъ, такъ-сказать, черезъ промежуточную стадію, гдѣ мы видимъ массу бабки, летящую съ извѣстной скоростью. Здѣсь также, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, если пренебечь ничтожнымъ сопротивленіемъ воздуха, ничего не теряется и не выигрывается въ работѣ, несмотря на промежуточную стадію. Вся работа тяжести при паденіи бабки тратится на работу углубленія сваи.

Двойственный характеръ величинъ, между собой въ сущности однородныхъ, побудилъ физиковъ озаботиться подысканіемъ термина, который обнималъ бы оба вида. Этотъ терминъ, вошедшій теперь въ общее употребленіе, есть *энергія*. Соотвѣтственно сказанному, мы должны различать два вида энергіи: во-первыхъ, энергію въ видѣ запаса работы,—въ видѣ работы, возможной прежде чѣмъ этотъ запасъ будетъ израсходованъ. Она называется энергіей потенциальной, что обозначаетъ въ переводѣ энергію въ возможности (*in potentia*). Второй видъ энергіи есть энергія движенія, или *кинетическая*. Она называется также живой силой: терминъ, унаследованный, въ числѣ многихъ другихъ, отъ прежнихъ вѣковъ,—нѣсколько сбивчивый, такъ какъ напоминаетъ о силѣ живыхъ существъ, съ чѣмъ это понятіе, какъ мы сейчасъ видѣли, ничего общаго не имѣетъ.

Все сказанное подготавливает насъ къ уразумѣнію закона сохраненія энергіи, въ примѣненіи пока къ тѣмъ механическимъ явленіямъ, о которыхъ была рѣчь. Законъ этотъ формулируетъ то, на что я сейчасъ обращаю ваше вниманіе. Если отвлечься отъ постороннихъ побочныхъ обстоятельствъ (тренія и пр.), то можно высказать слѣдующее общее положеніе: въ разсмотрѣнныхъ сейчасъ механическихъ процессахъ энергія не создается и не разрушается,—она *сохраняется*, т.-е. количество ея остается неизмѣннымъ, только форма, видъ ея мѣняется; мы говоримъ, что она *превращается* изъ одной формы въ другую. Когда мы при помощи падающей воды и колеса накачиваемъ воду вверхъ, мы, тратя запасъ работы, запасъ потенціальной энергіи, получаемъ другой такой же запасъ—въ видѣ поднятой кверху воды. При вкачиваньи сваи бабкой, потенціальная энергія поднятой кверху бабки сначала превращается въ энергію движенія этой бабки; затѣмъ, пройдя черезъ эту промежуточную стадію, идетъ на работу углубленія сваи въ грунтъ, противъ силъ сопротивляющихся этому углубленію.

Вы, можетъ быть, спросили бы меня: почему при этихъ соображеніяхъ я отвлекаюсь отъ побочныхъ вліяній,—какое право я имѣю это сдѣлать, если эти вліянія на самомъ дѣлѣ присутствуютъ? Но что же изъ этого? Никто не станетъ отрицать закона инерціи (т.-е. того закона, что тѣло, пущенное съ извѣстной скоростью и предоставленное самому себѣ, будетъ продолжать двигаться съ этой скоростью по прямой линіи) только потому, что всякое земное тѣло, приведенное въ движеніе, въ концѣ концовъ останавливается. Ясно, что здѣсь на общій законъ накладывается нѣчто постороннее. Наконецъ, мы имѣемъ случай, гдѣ нѣтъ такого рода постороннихъ вліяній. Это—движеніе небесныхъ свѣтилъ. Предѣлы моей бесѣды не позволяютъ мнѣ подробно его разбирать; скажу только, что здѣсь мы имѣемъ механизмъ съ дивной гармоніей отдѣльныхъ частей, не обладающій никакими изъ несовершенствъ нашихъ земныхъ механизмовъ. Здѣсь нѣтъ никакой растраты работы на преодоленіе тренія и т. п., и законъ сохраненія энергіи примѣняется во всей чистотѣ.

Такимъ же свойствомъ несоздаваемости и неразрушимости, какое мы признали за энергіей, обладаетъ, какъ извѣстно, *вещество*

(масса), что дало англійскому физикѣ Тэту поводъ сказать, что въ природѣ существуютъ только двѣ *вещи*—матерія и энергія.

Если я не слишкомъ злоупотребилъ вашимъ терпѣніемъ и вниманіемъ, излагая столь сухой предметъ, если мнѣ удалось сдѣлать вамъ сколько-нибудь понятнымъ главную суть закона сохраненія энергіи въ примѣненіи къ механическимъ явленіямъ, то для васъ уже не представитъ затрудненія понять значеніе грандіознаго обобщенія, которое было сдѣлано изъ этой механической теоремы, — обобщенія, обнимающаго всѣ явленія природы. Гельмгольтцъ былъ въ числѣ первыхъ свѣтлыхъ умовъ, которые ясно сознали возможность, даже необходимость, такого обобщенія, и затѣмъ посвятили свои силы на то, чтобъ убѣдить въ немъ современниковъ.

Начну опять съ простаго примѣра. Представимъ себѣ опять гирию, которую я поднялъ на высоту и опять роняю на полъ; представимъ себѣ, что этотъ полъ совершенно твердый, не уступающій удару и неупругій, такъ что гирия не отскакиваетъ отъ него: ударившись объ полъ, она остановится. Въ этой низшей точкѣ ея пути запасъ возможной работы (потенціальной энергіи) исчерпанъ; энергія движенія также равна нулю, ибо движеніе прекратилось. Общій итогъ энергіи, вмѣсто прежней величины, равенъ, слѣдовательно, нулю.

Но дѣйствительно ли энергія разрушилась, исчезла? Повидимому, да; но только *повидимому*. Слѣдую методу точнаго экспериментальнаго изслѣдованія, мы должны спросить себя: не сопровождается ли названный сейчасъ опытъ какимъ-либо другимъ явленіемъ, появленіемъ еще чего-либо, въ чемъ мы можемъ искать эквивалента исчезнувшей, повидимому, энергіи?

Давно извѣстно, что прекращеніе движенія движущагося тѣла вызываетъ появленіе *тепла*. Быстро летящая свинцовая пуля, ударяясь о мишень, нагревается настолько, что можетъ расплавиться. Ударяя молоткомъ по куску желѣза, лежащему на наковальнѣ, можно его нагрѣть настолько, что невозможно будетъ держать его въ рукахъ. Точно также появляется тепло, если тратится механическая работа на преодоленіе тренія. Этотъ опытъ каждый изъ васъ ежедневно дѣлаетъ въ той или другой формѣ, шаркая спичкой по коробкѣ, пока она не воспламенится отъ раз-

вившагося тепла, или потирая похолодѣвшія руки. Иногда приходится быть невольнымъ участникомъ подобнаго опыта, когда напримѣръ, плохо смазанная ось желѣзнодорожнаго вагона, какъ говорится, загорается, т.-е. нагрѣвается отъ тренія настолько, что оставшееся масло сгараетъ и ось начинаетъ сильно прилипать къ подшипникамъ.—Хорошо еще, если опытъ не сопровождается другой трансформациею энергіи—превращеніемъ энергіи движенія поѣзда въ работу расщепленія его на мелкіе дребезги, вмѣстѣ съ пассажирами. Но возвратимся къ предмету. Для насъ важно то, что всякій разъ когда растрачивается, повидимому безслѣдно, механическая энергія, появляется тепло.

Съ другой стороны мы знаемъ, что посредствомъ тепла можно получить работу. Общеизвѣстнымъ и нагляднымъ примѣромъ тому служить паровая машина. Тепло, полученное отъ сжиганія топлива, даетъ здѣсь, при посредствѣ пара, работу.

Такимъ образомъ истраченная работа даетъ намъ тепло; въ свою очередь тепло опять можетъ доставить намъ механическую работу. Естественно возникаетъ мысль: не есть ли тепло также нѣкоторая промежуточная стадія, черезъ которую механическая энергія опять превращается въ механическую же?

Обобщеніе закона сохраненія энергіи на всѣ явленія природы, о которомъ я упоминалъ, началось именно съ явленій тепловыхъ. Въ настоящее время можно считать доказаннымъ, что тепло дѣйствительно есть не что иное, какъ нѣкоторая форма энергіи. Согласно этому представленію, тепло есть энергія движенія мельчайшихъ частицъ тѣла и атомовъ, составляющихъ эти частицы. Какого рода это движеніе, по какимъ путямъ движутся частицы и атомы,—мы въ точности не знаемъ, или знаемъ только для нѣкоторыхъ простѣйшихъ случаевъ, и то благодаря уже новѣйшимъ успѣхамъ науки; но для того, чтобы провѣрить сохраненіе энергіи на тепловыхъ явленіяхъ, намъ это и не нужно. Для насъ важно вотъ что. Если мы дѣйствительно имѣемъ право распространить законъ сохраненія энергіи на тепловыя явленія, то въ приведенныхъ примѣрахъ, когда исчезаетъ механическая энергія, должно появиться *равное* количество тепловой, предполагая разумѣется, что оба вида энергіи выражены въ той же самой мѣрѣ, въ тѣхъ же самыхъ единицахъ; и это совершенно независимо

отъ того, какимъ именно процессомъ мы переводимъ работу въ тепло. Точно также, если мы посредствомъ тепла, какимъ бы то ни было способомъ, добываемъ механическую работу, въ теплѣ долженъ быть нѣкоторый недочетъ, какъ разъ равный произведенной работѣ.

Точные количественные опыты показали, что это въ самомъ дѣлѣ такъ. Самыми разнообразными способами переводилась механическая работа въ тепло, и наоборотъ—тепло въ механическую работу; всегда оказывалось, что количества энергіи исчезнувшей и появившейся равны. Въ этомъ заключается неопровержимое доказательство *a posteriori* вѣрности сдѣланнаго допущенія, что законъ сохраненія энергіи распространяется и на тепловые явленія.

Съ этой точки зрѣнія никакая работа не пропадаетъ. Возьмемъ, на примѣръ, работу, которая по своей непроизводительности вошла въ пословицу,—*толченіе воды*. Я разумѣю здѣсь эту операцію въ буквальномъ, а не въ переносномъ смыслѣ. Остается ли она, дѣйствительно, безъ результата? Отвѣчаю: нѣтъ. Неизмѣннымъ слѣдствіемъ ея будетъ появленіе тепла, т.-е. нѣкоторое повышение температуры воды. Съ экономической точки зрѣнія пословица, пожалуй, оправдывается: результатъ этотъ могъ бы быть достигнутъ проще и дешевле другими путями; но съ физической точки зрѣнія мы не имѣемъ права сказать, что работа пропала: она только превратилась въ другой видъ энергіи.

Твердо ставши на такую точку зрѣнія, мы можемъ по этому пути идти далѣе. Если при какомъ бы то ни было естественномъ процессѣ мы видимъ появленіе тепла, мы можемъ всегда спросить себя: какая работа, какая иная форма энергіи превратилась въ тепловую? Наибольшее количество тепла, которое мы добываемъ искусственно и которое расходуетъ на наши надобности, доставляютъ намъ *химическіе* процессы, преимущественно процессъ горѣнія. Уголь, дрова, нефть и другіе виды топлива, соединяясь химически съ одной изъ составныхъ частей атмосфернаго воздуха, съ его кислородомъ, доставляютъ намъ требуемое тепло. Появленіе тепла въ данномъ случаѣ мы можемъ понимать не иначе какъ видя въ немъ результатъ работы внутренней химической силы, такъ-называемой силы химическаго сродства. Эта сила заставляетъ атомы разнородныхъ тѣлъ соединяться химически, т.-е. группиро-

ваться въ новыя комбинаціи, которыя соотвѣтствуютъ новымъ тѣламъ, являющимся въ результатъ химическаго процесса. Уголь и другіе виды топлива, имѣютъ, какъ мы выражаемся, *сродство* къ кислороду воздуха, и при горѣніи съ нимъ соединяются; результатомъ являются новыя тѣла, продукты горѣнія, которые, кромѣ небольшого минеральнаго остатка—зола, суть главнымъ образомъ водяной паръ и углекислота, или углекислый газъ,—тотъ самый газъ, который заставляетъ пѣниться квасъ и пиво, и которымъ мы искусственно насыщаемъ сельтерскую воду и другіе шипучіе напитки.

Опытъ показываетъ, что сжиганіе опредѣленнаго количества извѣстнаго топлива даетъ всегда опредѣленное количество тепла, независимо отъ того, скоро или медленно происходитъ процессъ горѣнія, прямо ли получились окончательные продукты горѣнія, или сначала какія-либо промежуточные тѣла. Это значитъ, что опредѣленному химическому процессу, даннымъ начальнымъ и конечнымъ тѣламъ, соотвѣтствуетъ опредѣленная химическая работа. Чаще всего эта работа превращается прямо въ тепло, но мы знаемъ и такіе случаи, гдѣ она частью превращается и въ другія формы энергіи. Напримѣръ, щепоть пороха въ дулѣ ружья даетъ не только тепло, но и кинетическую энергію вылетающей изъ дула пули. Продукты горѣнія пороха, пороховые газы, занимаютъ несравненно большій объемъ, чѣмъ самый порохъ, и, образуясь почти моментально, съ силой выбрасываютъ пулю.

Согласно съ такимъ взглядомъ на механическій смыслъ химическихъ процессовъ,—въ химически-разнородныхъ тѣлахъ, могущихъ соединиться, мы имѣемъ запасы потенциальной энергіи, могущей превратиться въ иные виды. Таковыми запасами, которые мы расходуетъ, по мѣрѣ надобности, представляются, слѣдовательно, вмѣстѣ съ кислородомъ воздуха залежи минеральнаго топлива и наши лѣса, стоящіе на корню.—Этотъ послѣдній видъ потенциальной энергіи пришлось, какъ извѣстно, въ послѣднее время у насъ въ Россіи даже законодательными актами оградить отъ слишкомъ успѣшнаго превращенія въ тепловую.

Бросимъ бѣглый взглядъ еще на одну обширную категорію явленій, на явленія электрическія. Здѣсь мы должны принять существованіе еще новой формы энергіи, энергіи электрическаго

тока, въ которую могутъ превращаться другія ея формы, равно какъ и она можетъ превращаться въ другія формы. Въ обыкновенныхъ такъ-называемыхъ гальваническихъ элементахъ,—тѣхъ банкахъ съ жидкостями и металлическими пластинками, которыми приводятся въ дѣйствіе электрическіе звонки, телефоны и телеграфы,—электрическая энергія добывается изъ тѣхъ *химическихъ* процессовъ, какіе происходятъ въ элементахъ. Химическая работа здѣсь, слѣдовательно, обращается непосредственно не въ тепло, а въ энергію тока. Въ такъ-называемыхъ термоэлементахъ *тепловая* энергія превращается въ энергію тока. Въ динамомашинахъ, доставляющихъ токъ для электрическаго освѣщенія и другихъ промышленныхъ цѣлей, мы получаемъ электрическую энергію, затрачивая работу двигателя, приводящаго въ движеніе динамошину. Обратное превращеніе электрической энергіи въ другіе виды мы видимъ во множествѣ случаевъ. Въ лампахъ съ накаливаніемъ, и вообще при электрическомъ освѣщеніи, мы имѣемъ превращеніе электрической энергіи въ тепловую. Токъ имѣетъ свойство нагревать проводники, по которымъ идетъ, и мы опыты располагаемъ такъ, чтобы въ извѣстныхъ мѣстахъ сосредоточилось нагреваніе возможно интенсивное, дабы проводники раскалились до-бѣла и свѣтили. Въ электрическихъ двигателяхъ, которые теперь примѣняются на электрическихъ желѣзныхъ дорогахъ и для другихъ подобныхъ цѣлей, мы видимъ превращеніе этой энергіи въ механическую работу. Наконецъ, посредствомъ ея мы можемъ произвести химическій процессъ, но характера обратнаго тому, отъ котораго происходитъ самый токъ: процессъ разложенія сложнаго тѣла на его составныя части. Такъ, наприимѣръ, вода, подъ вліяніемъ тока, распадается на кислородъ и водородъ—два газа, изъ которыхъ она составлена. Мнѣ нечего указывать вамъ на то, какую важную роль играетъ электрическая энергія въ современной общественной и экономической жизни. Она важна какъ промежуточная стадія, промежуточная форма, черезъ которую энергія передается на разстояніе, и притомъ съ неимовѣрной быстротой. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ именно эта быстрота передачи и играетъ главную роль: въ телеграфѣ, телефонѣ, электрическомъ звонкѣ.

Предѣлы моей бесѣды не позволяютъ мнѣ подробно останавливаться на разборѣ всѣхъ отдѣльныхъ случаевъ. Ограничусь тѣмъ,

что постараюсь показать вамъ на опытѣ нѣкоторыя изъ превращеній энергіи ¹⁾).

Мы видимъ, такимъ образомъ, что для явленій неорганическаго міра законъ сохраненія энергіи безусловно примѣняется. Естественно возникаетъ вопросъ: примѣняется ли онъ также къ міру живыхъ организованныхъ существъ, животныхъ и растений, или же присутствіе въ нихъ жизни ставитъ ихъ *вне* этого закона, подчиняя своимъ особеннымъ законамъ?

Нужно замѣтить, что растительные и животные организмы особенно высшіе, представляются намъ механизмами настолько сложными, что продѣлывать съ ними точные количественные опыты возможно только въ рѣдкихъ и притомъ простѣйшихъ случаяхъ.

Въ этихъ случаяхъ, какъ мы сейчасъ увидимъ, отвѣтъ получается утвердительный; а такъ какъ, съ другой стороны, мы не знаемъ ни одного факта изъ этой области, который противорѣчилъ бы закону сохраненія энергіи, то мы имѣемъ право обобщить его на весь органическій міръ, пока не будетъ доказано противное.

Разберемъ слѣдующій примѣръ. Мы видѣли, что химическій процессъ, превращеніе однихъ опредѣленныхъ тѣлъ въ другія, выдѣляетъ опредѣленное количество тепла. Возьмемъ процессъ, лежащій въ основѣ винокуренія: образованіе виннаго спирта изъ нѣкоторой сахаристой жидкости, такъ-называемаго затора, — процессъ называемый броженіемъ. Сахаръ распадается на алкоголь и углекислый газъ (тотъ самый газъ, о которомъ я уже упоминалъ по поводу горѣнія); процессъ сопровождается выдѣленіемъ опредѣленнаго количества тепла. Но важно вотъ что. Процессъ этотъ, хотя и химическій, есть результатъ жизнедѣятельности организма, именно дрожжеваго грибка. Безъ дрожжей нѣтъ броженія. Дрожжевой грибокъ поглощаетъ сахаръ, питается имъ и выдѣляетъ спиртъ и углекислоту, и при этомъ размножается съ неимоверной быстротой. Когда въ жидкости останется мало сахара

¹⁾ Описаніе опытовъ, показанныхъ на лекціи, не содержится въ рукописи покойнаго Р. А. Колли. Чтобы пополнить пробѣлъ и напомнить экспериментальную обстановку лекціи, прилагаемъ краткое указаніе этихъ опытовъ въ видѣ особаго прибавленія въ концѣ главы. — *Ред.*

и накопится столько спирта, что грибокъ въ ней болѣе жить не можетъ, онъ погибаетъ и броженіе останавливается.

Но сахаръ можетъ быть переведенъ въ спиртъ и углекислоту другимъ, кружнымъ, чисто химическимъ путемъ, пройдя черезъ рядъ промежуточныхъ тѣлъ. Вычисленіе показываетъ, что, если подвести общій итогъ (свести балансъ) теплу, выдѣляемому и поглощаемому отдѣльными химическими процессами, то оказывается, что общее количество тепла получается въ итогѣ то же самое, какъ при броженіи. Итакъ, въ одномъ случаѣ промежуточные стадіи суть жизнь, питаніе, размноженіе и смерть организма, въ другомъ — чисто химическія превращенія, и результатъ въ обоихъ случаяхъ одинаковъ. Ясное доказательство того, что и жизненные явленія не суть какія-либо явленія *sui generis*, стоящія внѣ общихъ законовъ природы: они, напротивъ, подчинены тѣмъ же общимъ законамъ, которымъ подчиняется и міръ неорганической.

Въ высшихъ растеніяхъ мы имѣемъ процессъ превращенія энергіи, играющій первенствующую роль въ экономіи природы. Какъ извѣстно, растенія питаются не изъ почвы, откуда они кромѣ воды заимствуютъ лишь малую долю своихъ составныхъ частей, но изъ атмосферы. Собственно ткань растенія, клѣтчатка, и соки его состоятъ изъ разнаго рода химическихъ соединений, въ основѣ которыхъ лежитъ уголь, или углеродъ, какъ называютъ его химики. Вотъ этотъ углеродъ, составляющій существенную часть растительной массы, заимствуется изъ атмосферы черезъ разложеніе содержащейся въ ней углекислоты, того газа, о которомъ я уже неоднократно упоминалъ.

Но какъ происходитъ этотъ процессъ? Простое соображеніе показываетъ, что онъ не можетъ происходить самопроизвольно: мы именно видимъ, что *обратный* процессъ происходитъ самопроизвольно. Кусокъ угля, дерева, или другаго тѣла растительнаго происхожденія, тѣла содержащаго углеродъ, — разъ зажженный, продолжаетъ горѣть, т.-е. соединяться химически съ кислородомъ воздуха, образуя углекислоту и выдѣляя тепло, что указываетъ на то, что химическія силы совершаютъ при этомъ положительную работу. Поэтому, чтобы разложить углекислоту на ея составныя части, углеродъ и кислородъ, должна быть затрачена работа противъ этихъ силъ, — затрачена энергія, которая слѣдовательно

должна быть почерпнута изъ какого-либо посторонняго источника.

Какой же это источникъ энергіи? Успѣхи фізіологіи растений позволяютъ намъ опредѣленно и категорически отвѣтить на этотъ вопросъ. Эта энергія заимствуется отъ солнца, которое посылаетъ ее намъ въ видѣ лучей. Безъ свѣта, въ потьмахъ, никакое растение существовать не можетъ.

Не входя здѣсь въ подробности, относящіяся притомъ къ области, гдѣ я чувствовалъ бы себя черезчуръ дилеттантомъ, скажу только, что зеленныя части растенія, его листья и стебли, суть тѣ, въ которыхъ, при посредствѣ энергіи солнечныхъ лучей, происходитъ расщепленіе углекислоты и усвоеніе углерода. Важную роль при этомъ играетъ вещество, называемое *хлорофилломъ*, которое содержится въ этихъ частяхъ растений и отчасти придаетъ имъ ихъ зеленую окраску.

Мы можемъ сказать, что источникъ всякой энергіи на землѣ есть солнце. Солнечное тепло есть первичная причина всѣхъ метеорологическихъ процессовъ, и мы сейчасъ видѣли, что солнечные лучи въ буквальномъ смыслѣ суть источникъ всей растительной жизни на землѣ. Животныя, въ томъ числѣ и человѣкъ, питаются растеніями или другъ другомъ, слѣдовательно косвенно заимствуютъ энергію изъ того же источника. «Изъ этого вытекаетъ»,—по шутливому замѣчанію Гельмгольца,—«тотъ весьма лестный для насъ результатъ, что вся энергія, благодаря которой наше тѣло живетъ и движется, заимствована изъ чистѣйшаго солнечнаго свѣта. Всѣ мы по благородству происхожденія не уступаемъ властителю Небесной имперіи: всѣ мы, въ извѣстномъ смыслѣ, *сыны солнца*».—Правда, эта высокая честь нѣсколько умаляется тѣмъ, что ее раздѣляетъ съ нами все живущее, даже такія существа, родство съ которыми мы должны принять за нѣкоторый *mésalliance*...

Въ настоящемъ очеркѣ,—можетъ быть черезчуръ длинномъ, но такова уже тема, обнимающая всѣ безъ исключенія явленія природы,—я старался дать вамъ нѣкоторое понятіе о законѣ сохраненія энергіи. Какое же участіе принималъ въ его разработкѣ Гельмгольцъ? Это участіе можно выразить въ двухъ словахъ. Нѣтъ ни одного изъ тѣхъ положеній, которыя я имѣлъ честь сейчасъ

развивать передъ вами, котораго нельзя бы было найти въ его сочиненіи о сохраненіи силы, или въ его послѣдующихъ рѣчахъ и статьяхъ, обнародованныхъ вскорѣ послѣ этого сочиненія. Нѣкоторыя изъ этихъ положеній мы находимъ уже въ разработанномъ видѣ, со строгими математическими доказательствами, въ видѣ выводовъ изъ главной исходной точки, другія—въ видѣ зачатковъ; но всѣ они указаны у Гельмгольца; кромѣ этого указано еще весьма многое, чего я не имѣлъ возможности коснуться въ моей бесѣдѣ.

Въ своей послѣдующей научной дѣятельности, въ своихъ многочисленныхъ теоретическихъ и экспериментальныхъ работахъ, Гельмгольцъ много разъ возвращался къ закону сохраненія энергіи. Точнѣе было бы сказать, что всѣ его работы проникнуты ученіемъ о сохраненіи энергіи. Въ спорныхъ вопросахъ онъ часто указывалъ на этотъ законъ, какъ на непреложный критерій для оцѣнки тѣхъ или другихъ теоретическихъ воззрѣній. Наконецъ, изъ числа послѣднихъ его математическихъ работъ укажу на введеніе имъ въ науку понятій о свободной и связанной энергіи, имѣющихъ глубокий и ясный физическій смыслъ; этого предмета будетъ имѣть случай коснуться одинъ изъ послѣдующихъ лекторовъ.

Отношеніе Гельмгольца къ современникамъ и предшественникамъ, занимавшимся тѣмъ же вопросомъ о сохраненіи энергіи, отличалось всегда полнѣйшимъ безпристрастіемъ. Этотъ человекъ слишкомъ богатъ умственными сокровищами, чтобы препираться изъ-за нихъ съ другими. Никто иной, какъ Гельмгольцъ, извлекъ въ началѣ 50-хъ годовъ изъ забвенія мемуары Майера, изданные въ 1842 и 1845 г. Въ этихъ мемуарахъ впервые ясно выражается принципъ эквивалентности тепла и работы, но формулируется онъ въ видѣ ряда тезисовъ съ доказательствами *a priori*, относительно убѣдительности которыхъ можно быть весьма различнаго мнѣнія. Очевидно Майеръ, какъ справедливо замѣчаетъ Гельмгольцъ, былъ человекъ недюжиннаго ума и, не подпадая вліянію ходячей рутины, почуялъ, можно сказать угадалъ, истину; но онъ не сумѣлъ убѣдить въ ней современниковъ. Выполнить эту послѣднюю задачу выпало на долю Гельмгольца и англичанина Джауля, который, усвоивъ себѣ основную идею, рядомъ образ-

цовыхъ экспериментальныхъ работъ неопровержимо доказалъ эквивалентность тепла и работы, и вообще разныхъ, видовъ энергіи.

Во всякомъ замѣчательномъ открытіи, особенно въ области идей и общихъ законовъ, всегда является множество споровъ о первенствѣ открытія. Этой судьбы не избѣгъ и законъ сохраненія энергіи. Нѣкоторые, преимущественно англійскіе, физики совершенно отрицали всякое значеніе Майера; другіе, напротивъ, ему одному приписывали всю славу открытія закона сохраненія энергіи, и самое открытіе превозносили какъ торжество чистаго мышленія, какъ результатъ достигнутый *a priori*, ранѣе всякихъ экспериментальныхъ доказательствъ.

Если Гельмгольтцъ и принималъ иногда участіе въ этой полемикѣ, то ратуя не за себя, а за другихъ, какъ напимѣръ—за того же Майера, въ защиту его отъ его англійскихъ порицателей.

Таковъ былъ Гельмгольтцъ по отношенію къ своимъ предшественникамъ и современникамъ; таковъ же онъ былъ и относительно своихъ многочисленныхъ послѣдователей и учениковъ. Здѣсь также мало онъ скупился на сокровища своего всеобъемлющаго ума. Сколько идей, даже сколько фактическихъ свѣдѣній ходитъ по бѣлу свѣту, которыя, если прослѣдить ихъ къ источнику, приводятъ къ статьямъ, лекціямъ и устнымъ бесѣдамъ Гельмгольца. Нѣкоторые изъ моихъ сотоварищей по настоящимъ чтеніямъ имѣли случай продолжительное время учиться и работать подъ его руководствомъ и могутъ подробно рассказать о его дѣятельности какъ профессора. Лѣтъ десять тому назадъ мнѣ пришлось одну зиму работать подъ его руководствомъ въ Берлинѣ. Экспериментальная работа, служившая темой, стояла въ связи съ закономъ сохраненія энергіи. Живо помню я бесѣды великаго учителя. Правда, не всегда бывалъ онъ, какъ говорится, въ ударѣ. Но если, заинтересовавшись той или другой стадіей въ ходѣ изслѣдованія, онъ примется бывало развивать тему, указывать на аналогію и связь даннаго вопроса съ другими, иногда изъ совершенно чуждыхъ областей,—не знаешь, чему болѣе удивляться: обширности ли познаній, или глубинѣ и оригинальности идей. Каждая такая бесѣда, въ умѣ сколько-нибудь пытливымъ, оставляла впечатлѣніе существованія еще массы новыхъ вопросовъ, ждущихъ разрѣшенія, новыхъ темъ для интересныхъ эксперимен-

тальных или теоретических работ. Не мудрено поэтому, что въ обширномъ физическомъ институтѣ, вмѣщавшемъ много десятковъ работающих, для каждаго находилось интересное и подходящее дѣло. Физики, собравшіеся со всѣхъ концовъ свѣта въ институтъ на Neue Wilhelmstrasse, видѣли тамъ передъ собой примѣры и руководство въ истинно научныхъ приѣмахъ изслѣдованія, и потомъ распространяли по своимъ угламъ славу великаго учителя.

Р. Колли.

П Р И Б А В Л Е Н І Е.

(Описаніе опытовъ, показанныхъ на лекціи Р. А. Колли, къ стр. 25).

Превращеніе работы въ теплоту посредствомъ тренія.—Мѣдная трубочка *a* (рис. 1), снизу закрытая, насажена на вращательный снарядъ. Вертя рукояткой большое колесо снаряда, мы заставляемъ

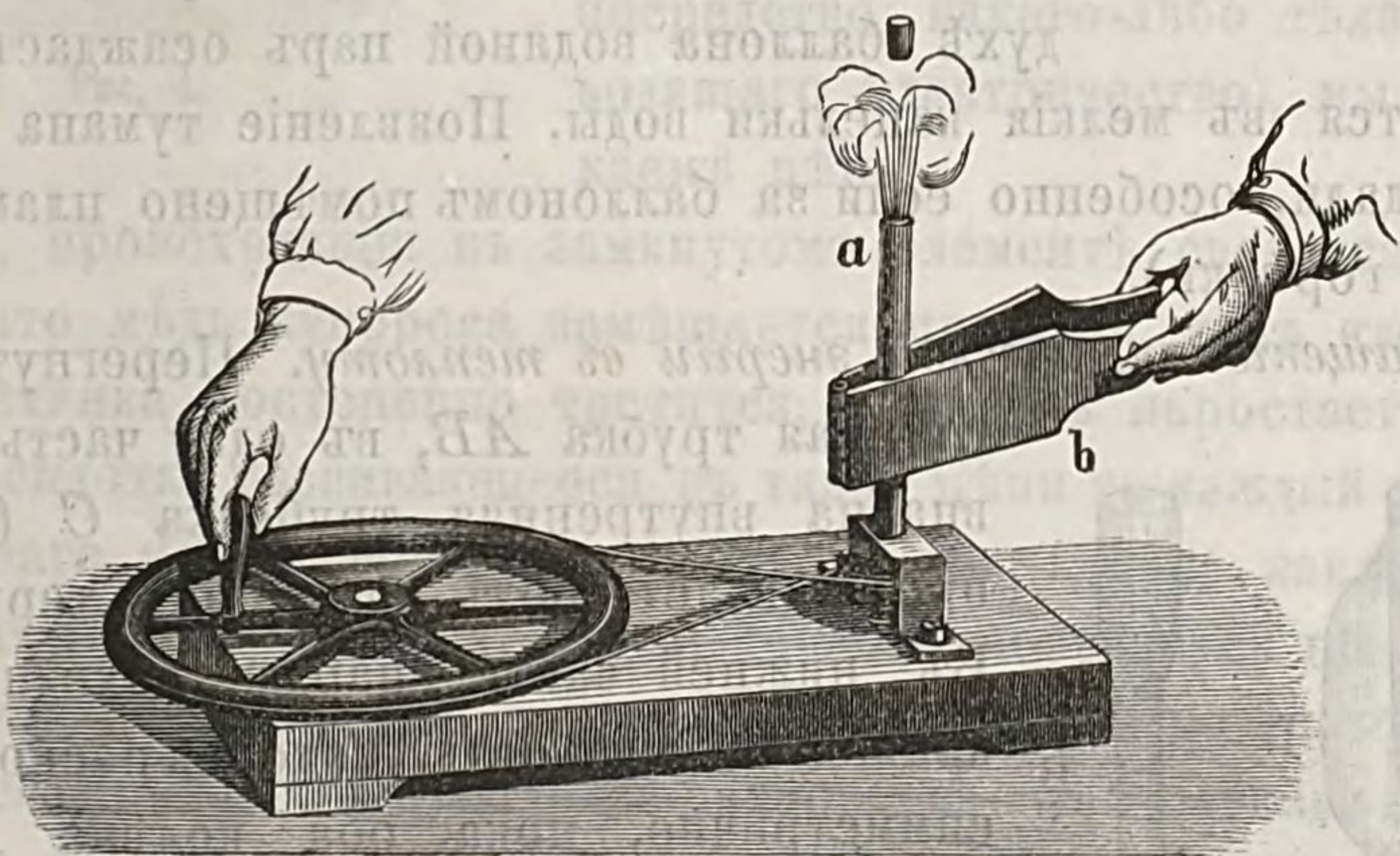


Рис. 1.

трубочку быстро вращаться. Охвативъ ее деревянными щипцами *b*, мы введемъ сильное треніе; вращеніе, при той же работѣ рукъ, станетъ медленнѣе,—часть работы тратится, повидимому, даромъ. Но зато въ мѣстахъ, гдѣ щипцы трутся о трубочку, развивается теплота. Чтобы обнаружить это, трубочку предварительно наполнили виннымъ спиртомъ и заткнули пробкой: отъ повышенія температуры спиртъ вскипаетъ, и пары его выбрасываютъ пробку.

Превращеніе теплоты въ работу при расширеніи газа.—Отъ стекляннаго баллона съ воздухомъ (рис. 2) ведетъ каучуковая трубка къ закрытому желѣзному сосуду (не показанному на рисункѣ), въ которомъ воздухъ былъ разрѣженъ посредствомъ воз-

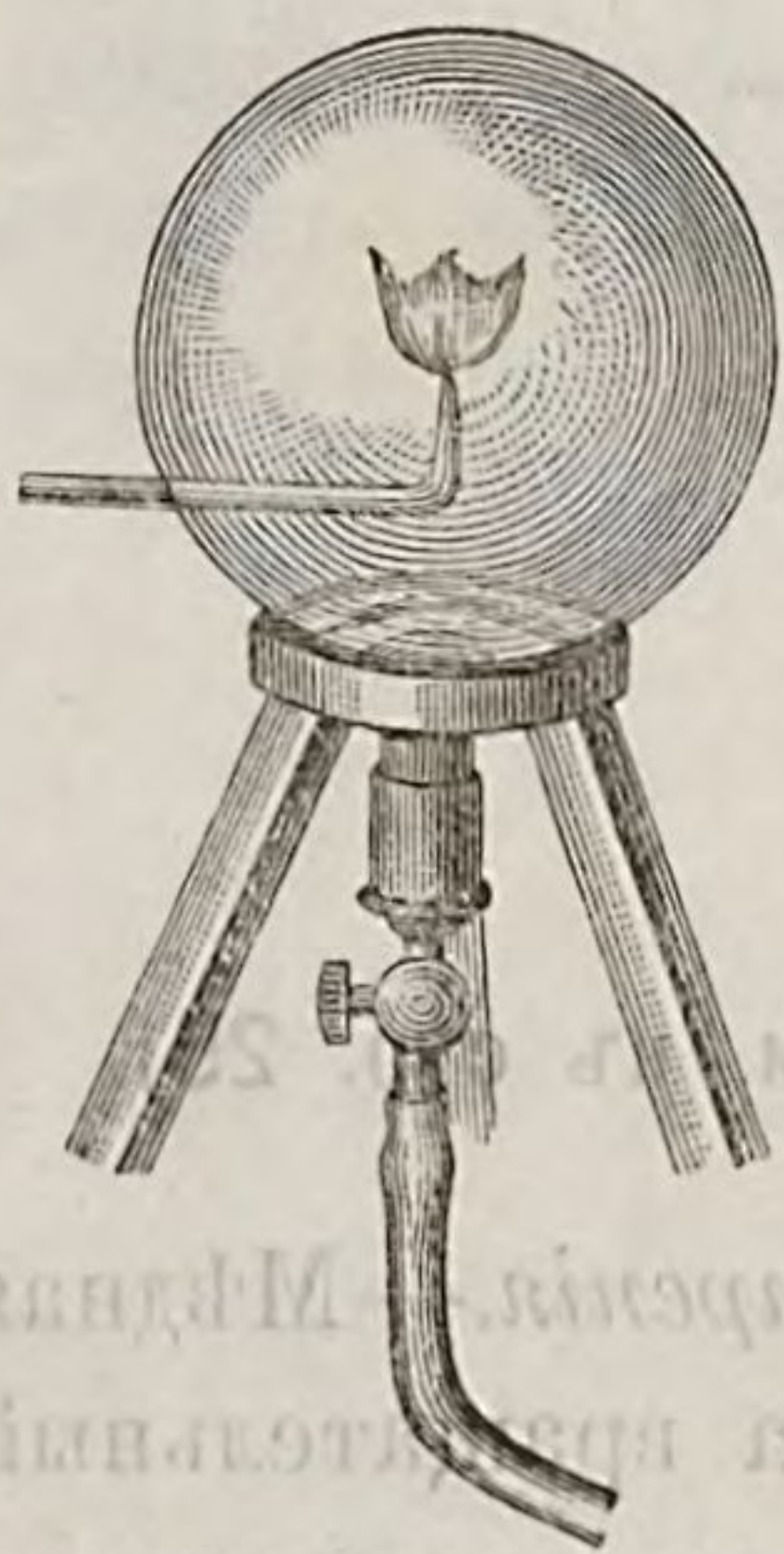


Рис. 2.

душнаго насоса. Въ началѣ опыта сосудъ запертъ краномъ, и сообщенія съ баллономъ не имѣетъ. Какъ только откроемъ кранъ, воздухъ изъ баллона устремляется въ сосудъ, расширяясь, чтобы заполнить большее пространство. При своемъ расширеніи воздухъ производитъ работу: онъ преодолеваетъ то сопротивленіе, какое оказываетъ ему разрѣженный воздухъ желѣзнаго сосуда. На эту работу тратится часть теплоты, содержащейся въ воздухѣ баллона, баллонъ охлаждается, и это охлажденіе сопровождается появленіемъ тумана: присутствующій въ воздухѣ баллона водяной паръ осаждается, т.-е.

обращается въ мелкія капельки воды. Появленіе тумана замѣтно даже издали, особенно если за баллономъ помѣщено пламя (напр. газовой горѣлки).

Превращеніе химической энергіи въ теплоту. Перегнутая сте-

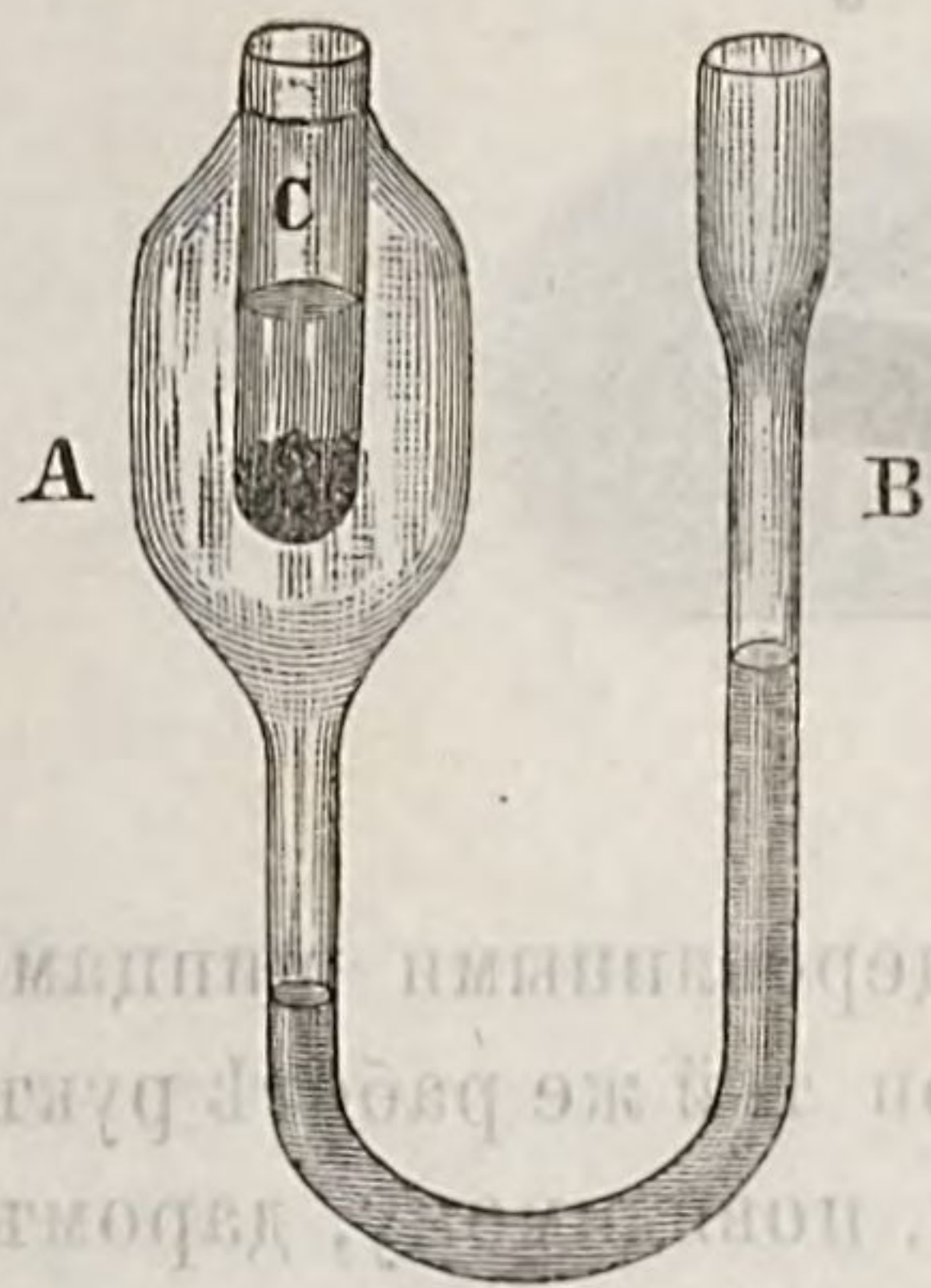


Рис. 3.

кланная трубка *AB*, въ одну часть которой впаяна внутренняя трубочка *C* (рис. 3), представляетъ родъ воздушнаго термометра. Въ нижней части снаряда находится подкрашенная жидкость, которая располагается симметрично, пока оба колѣна *A* и *B* наполнены воздухомъ одинаковой температуры. Всякое нагрѣваніе трубки *C* сопровождается расширеніемъ воздуха въ *A*, и жидкость вслѣдствіе того опускается на сторонѣ *A* и поднимается на *B*. Въ трубочку *C* налить растворъ мѣднаго купороса (т.-е. сѣрноокислой мѣди). Въ этотъ растворъ всыпаемъ цинковыхъ опилокъ. Происходитъ химическая реакція: цинкъ соединяется съ сѣрной кислотой, вытѣсняя мѣдь.

Химическая энергія, существовавшая въ веществахъ, стремившихся къ соединенію, обращается въ тепловую энергію, какъ скоро соединеніе произошло. Развившаяся теплота обнаруживается подъемомъ жидкаго столба на сторонѣ *B*.

Гальваническая батарея Даніэля. — Та же самая реакція происходитъ въ замкнутомъ гальваническомъ элементѣ Даніэля (рис. 4).

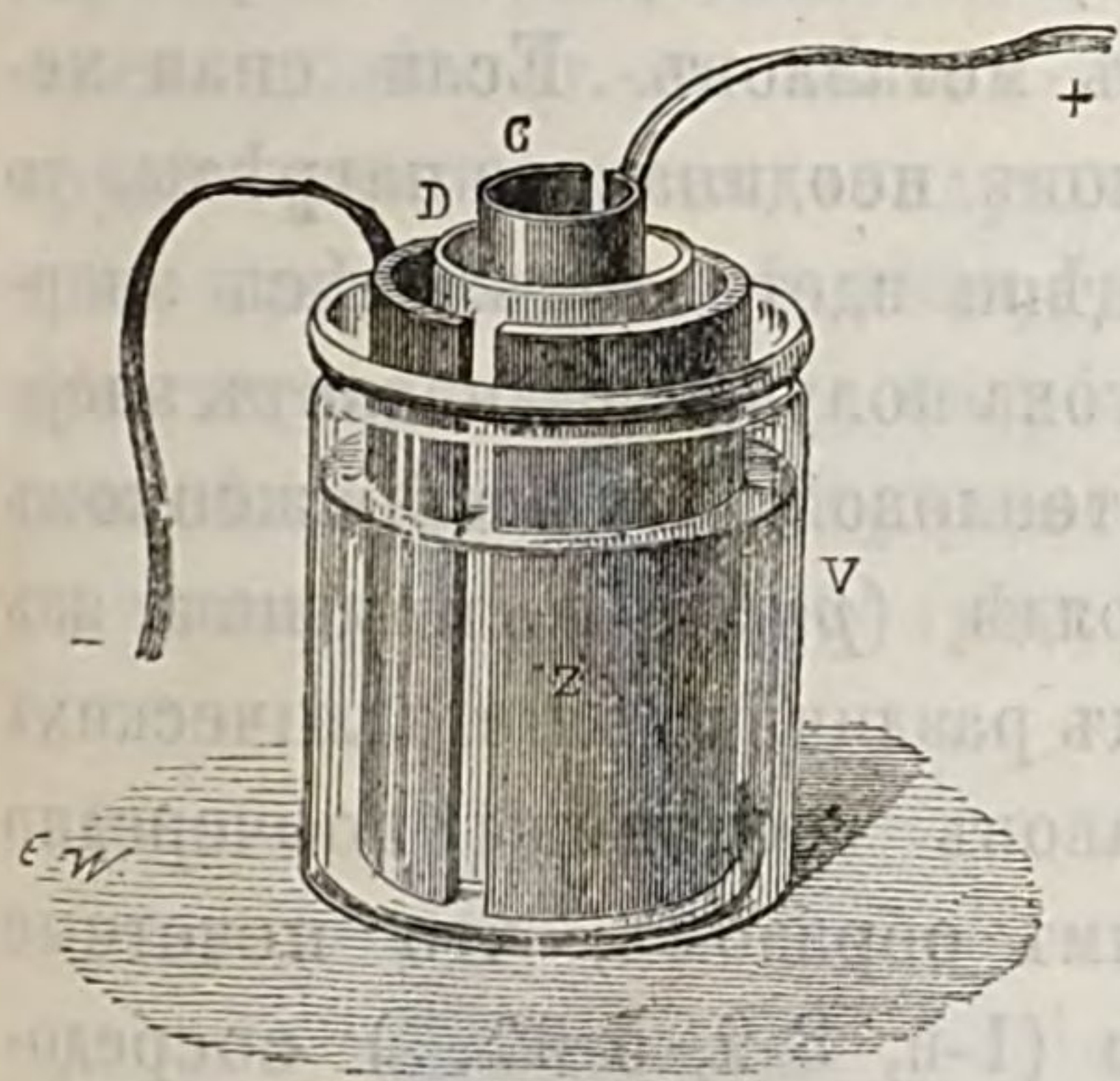


Рис. 4.

Онъ, какъ извѣстно, состоитъ изъ мѣдной пластинки *C*, погруженной въ растворъ мѣднаго купороса, и изъ цинковой пластинки *Z*, погруженной въ разбавленную водой сѣрную кислоту; обѣ жидкости раздѣлены пористой стѣнкой (внутреннимъ сосудомъ *D*). Отъ *C* и *Z* идутъ мѣдныя проволоки, соединяя которыя (непосредственно или чрезъ посредство какого-либо тѣла, проводящаго электричество), мы замыкаемъ цѣпь.

Реакціи, происходящія въ замкнутомъ элементѣ, сводятся опять къ тому, что мѣдь купороса замѣщается цинкомъ, такъ что цинковая пластинка постепенно тратится, а мѣдная нарастаетъ. Количество теплоты, развивающееся въ такой цѣпи на каждый граммъ раствореннаго цинка, совершенно таково же здѣсь, какъ и въ предыдущемъ опытѣ. Но здѣсь эта теплота появляется не только внутри самого элемента, а также (и даже главнымъ образомъ) въ замыкающей проволоцѣ. Составляя батарею изъ нѣсколькихъ такихъ элементовъ и замыкая ее «лампочками накаливанія», мы видимъ, что угольные нити этихъ лампъ раскаляются до-бѣла. (Опытъ).

При этомъ цѣпь обнаруживаетъ особыя электрическія и магнитныя свойства, которыя мы обозначаемъ словами: «въ цѣпи идетъ электрическій токъ».

Часть той «энергіи тока», какою обладаетъ замкнутый элементъ, можетъ быть употреблена на какую-либо работу, причемъ соответственно уменьшается количество развиваемой теплоты. Такъ, напримѣръ, наша батарея, будучи замкнута особаго рода машинкою — электромагнитнымъ двигателемъ (см. далѣе), заставляетъ

ее вращаться: химическая энергія, чрезъ посредство тока, превращается въ механическую работу. Если вертящаяся ось двигателя снабжена колесами, стоящими на рельсахъ, то вращеніе сопровождается поступательнымъ движеніемъ всей машины. (Опытъ—электрическая желѣзная дорога въ маломъ видѣ).

Термоэлектрическая батарея.—Токъ можно получать и безъ помощи химическихъ реакцій—въ цѣпи, составленной изъ различныхъ металловъ. Если спаи металловъ неодинаково нагрѣты, то въ цѣпи идетъ токъ: здѣсь энергія тока получается насчетъ энергіи тепловой. Въ изображенномъ

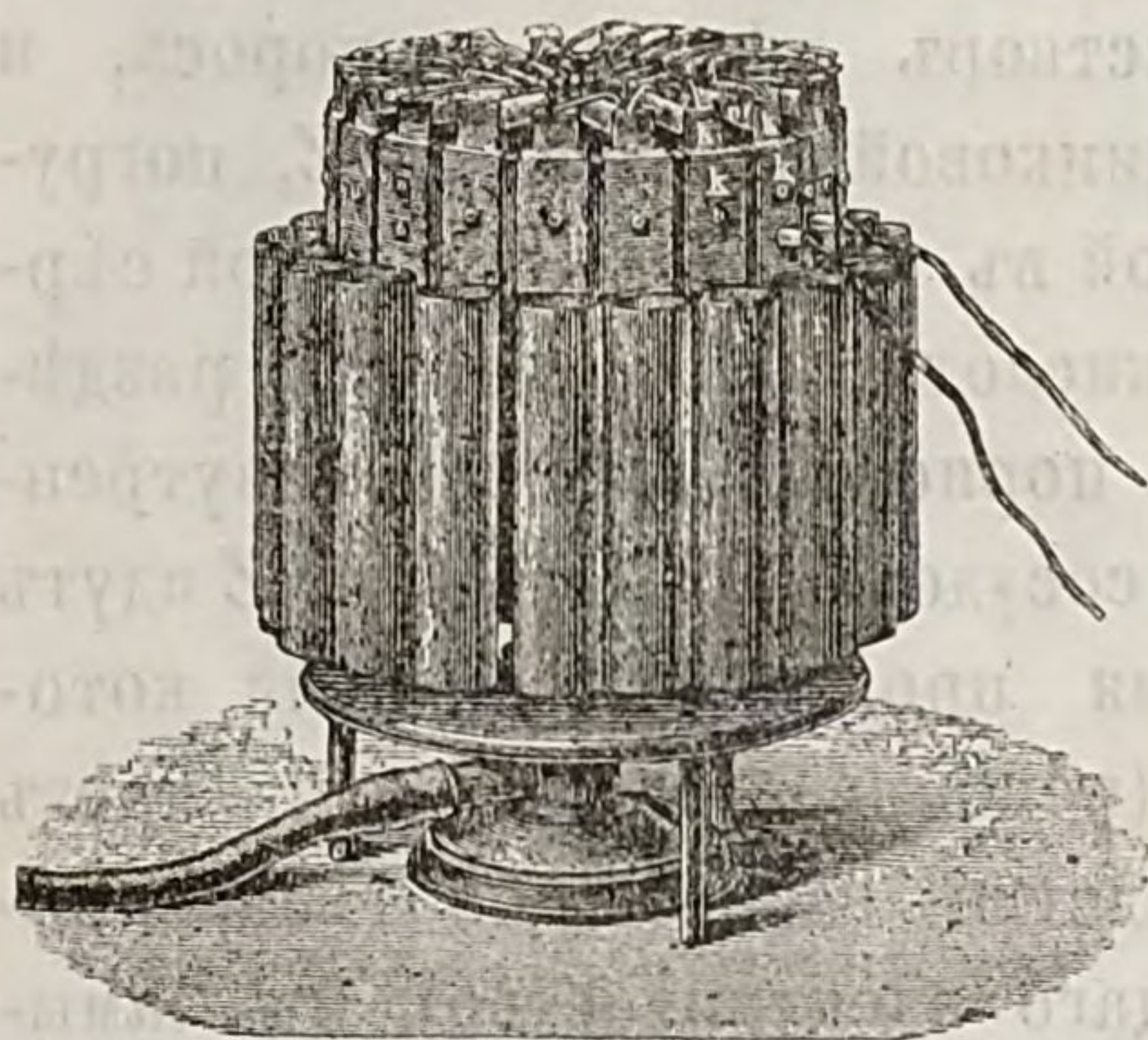


Рис. 5.

снарядѣ (рис. 5) прутики изъ двухъ различныхъ металлических сплавовъ соединены поочередно такимъ образомъ, что нечетные спаи (1-й, 3-й, 5-й...) сосредоточены къ центру, гдѣ нагрѣваются газовой горѣлкой; четные же спаи (2-й, 4-й...) выведены наружу, гдѣ охлаждаются окружающимъ воздухомъ при посредствѣ большихъ мѣдныхъ пластинъ. Соединяя концы аппарата съ электромагнитнымъ двигателемъ, видимъ, что онъ вертится: имѣемъ переходъ теплоты въ механическую работу при посредствѣ тока. Маленькою термоэлектрической батареей мы воспользуемся далѣе при одномъ изъ слѣдующихъ опытовъ.

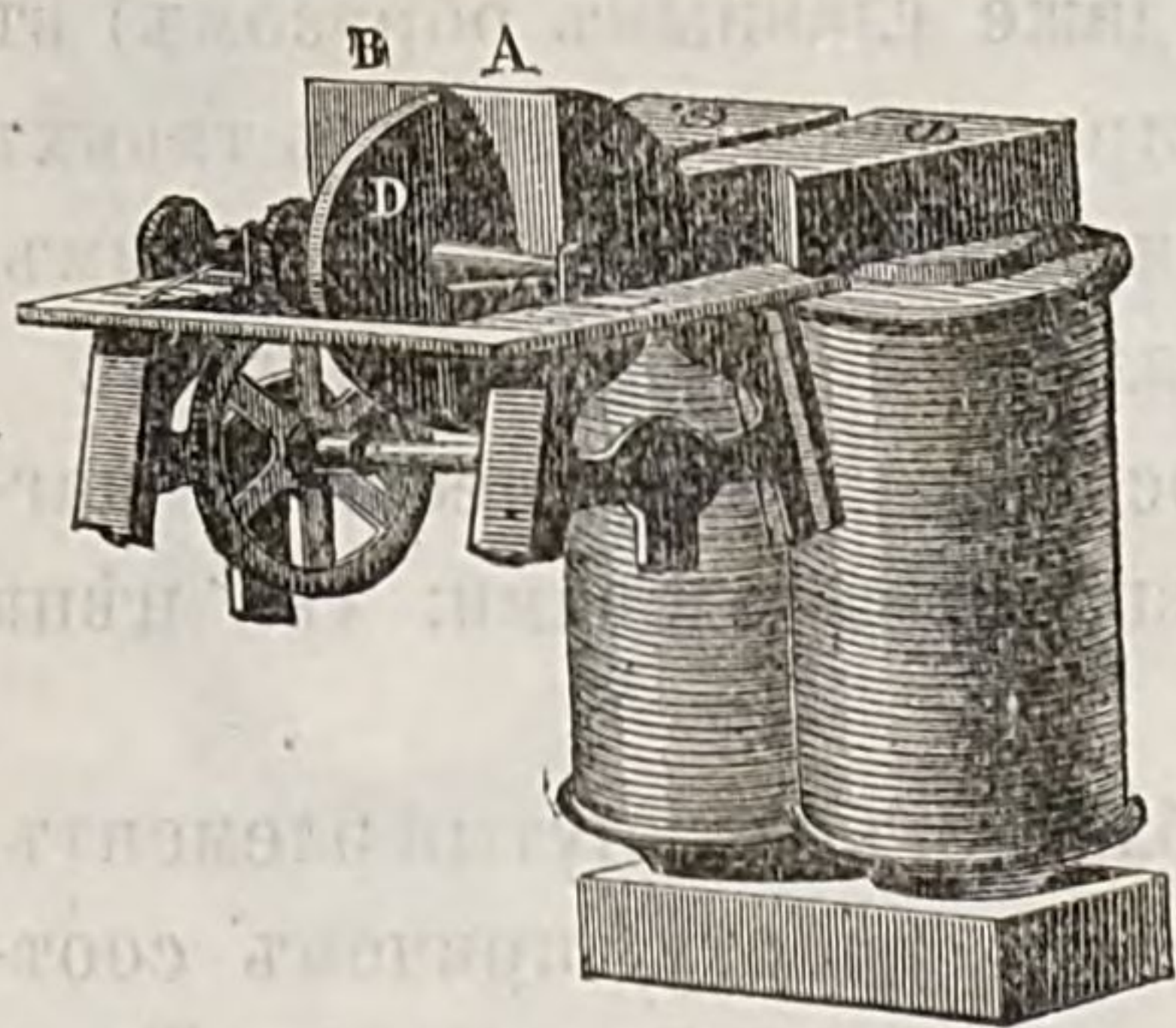


Рис. 6.

Опытъ Фукда.—Обратное превращеніе—работы въ теплоту—при посредствѣ тока происходитъ въ слѣдующемъ опытѣ. Мѣдный кружокъ D (рис. 6) приводится во вращательное движеніе на оси, въ пространствѣ между весьма сближенными полярными концами A, B электромагнита. Этотъ послѣдній состоитъ изъ двухъ желѣзныхъ стержней, соединенныхъ внизу желѣзной перекладиной; стержни обвиты изолированной проволокой,

ведущей къ полюсамъ гальванической батареи. Пока цѣпь не замкнута и электромагнитъ не обладаетъ магнитными свойствами, кругъ *D* вращается весьма быстро. Какъ только замкнемъ токъ, и электромагнитъ будетъ имъ намагниченъ, вращеніе сильно замедляется, и нужно употребить гораздо болѣе работы, чтобы вращать съ прежней быстротой. Эта излишняя работа тратится не даромъ: она переходитъ въ теплоту. Отъ вращенія въ «магнитномъ полѣ» (т.-е. вблизи намагниченныхъ массъ), въ мѣдномъ кругѣ развиваются «индуктивныя электрическіе токи», а всякій токъ нагреваетъ тѣ тѣла, въ которыхъ онъ идетъ. Чтобы обнаружить, что кругъ *D* нагрѣлся, прикасаемся къ нему одной стороной маленькой термоэлектрической батареи *B*, соединенной съ гальваноскопомъ *G* (рис. 7). Въ этой батарее нечетные спаи

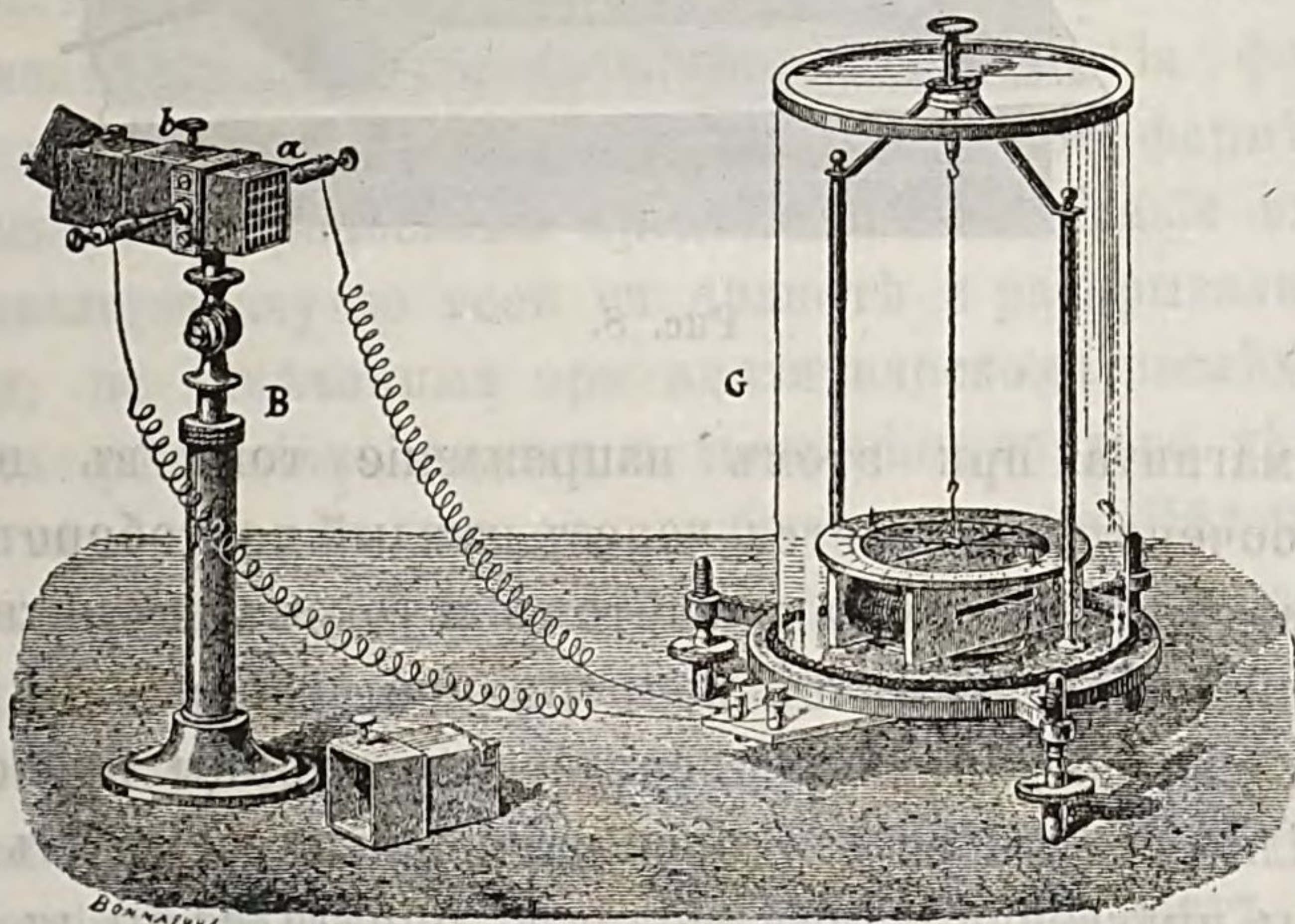


Рис. 7.

металловъ лежатъ на одной сторонѣ *a*, четные на другой—*b*. Какъ скоро одна сторона (*a*) коснулась мѣднаго кружка *D*, магнитная стрѣлка гальваноскопа поворачивается въ опредѣленномъ направленіи.

Электромагнитный двигатель.—Индуктивными токами, происходящими въ такъ-называемыхъ динамомашинахъ вслѣдствіе движенія проводниковъ въ магнитномъ полѣ, мы пользуемся для электриче-

скаго освѣщенія, и пр.¹⁾ Если же въ такую машину пустимъ токъ изъ другаго источника, то подвижная часть ея начинаетъ вращаться, и машина служитъ *электромагнитнымъ двигателемъ*, превращая энергію тока въ механическую работу.

Подобный снарядъ мы заставляли вращаться, пуская въ него токъ гальванической или термоэлектрической батареи. Токъ вступаетъ въ катушку *B* (рис. 8), расположенную между полюсами

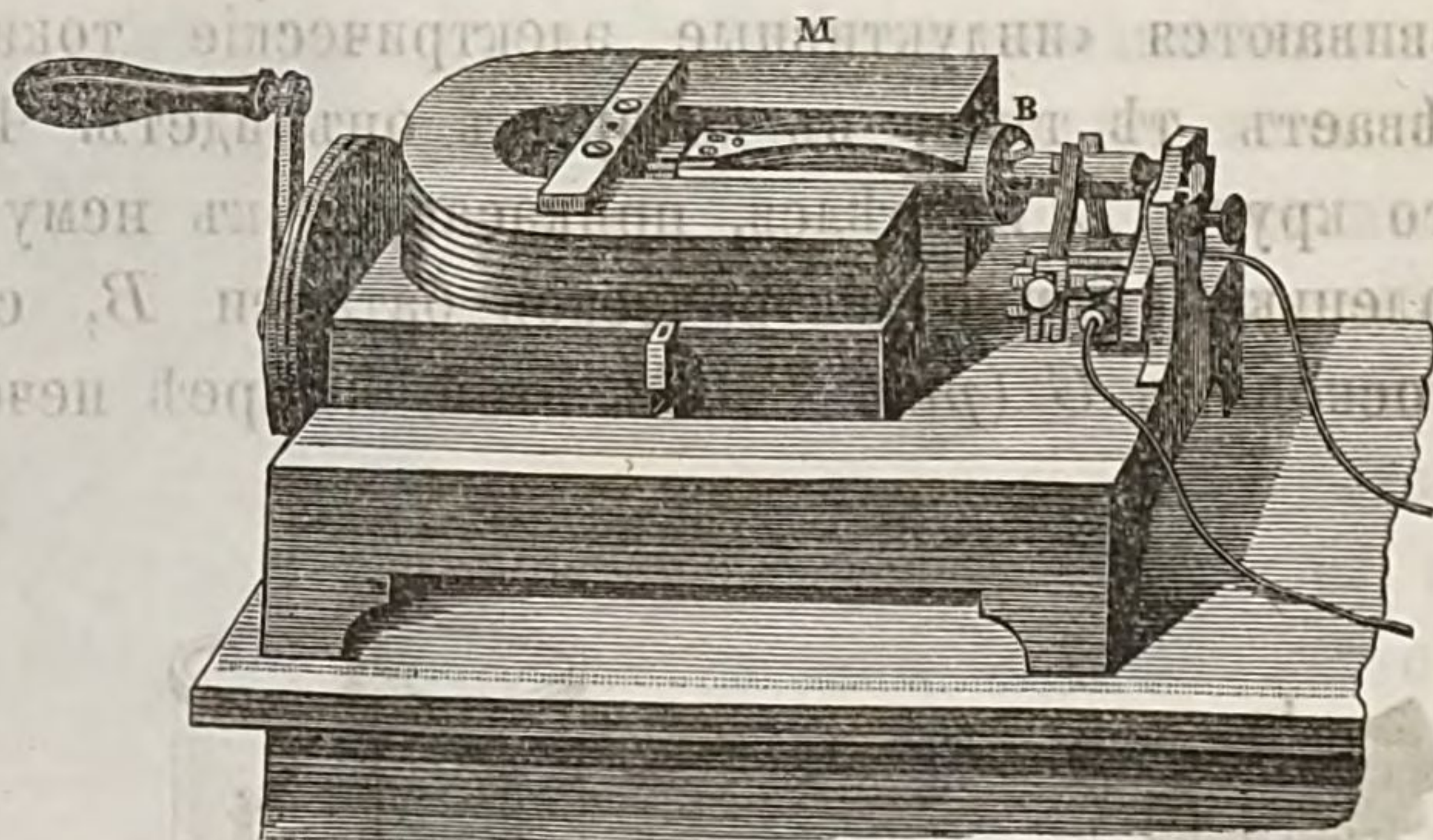


Рис. 8.

стального магнита; при этомъ направленіе тока въ проволоку катушки поочередно мѣняется черезъ каждый полуоборотъ. Вслѣдствіе взаимодѣйствій между магнитомъ и токомъ катушки, послѣдняя приходитъ при этомъ въ непрерывное вращеніе.

Если бы мы, соединивъ непосредственно концы проволоки катушки, стали вертѣть ее постороннимъ двигателемъ, въ катушкѣ появился бы индуктивный токъ: снарядъ обратился бы въ *магнито-электрическую машину*. Если, кромѣ того, вмѣсто стального магнита употребимъ желѣзный электромагнитъ, обмотка котораго соединена съ обмоткою подвижной катушки и протекается тѣмъ же индуктивнымъ токомъ, то получится *динамомашина*.

¹⁾ Аудиторія была освѣщена электричествомъ.

III. Работы по механикѣ.

Мм. Гг.

Въ своихъ работахъ по механикѣ Гельмгольтцъ является однимъ изъ видныхъ представителей той школы ученыхъ, которая, по выраженію Пуансо, поставила себѣ задачей: «considérer les choses en elles-mêmes».

Механика развивалась какъ глубокомысленными трудами аналитиковъ, такъ и остроумными изслѣдованіями геометровъ. При этомъ часто бывало, что сложныя аналитическія формулы освѣщались и представлялись въ ясной наглядной формѣ, благодаря удачнымъ геометрическимъ представленіямъ. Такія интерпретаціи захватывали задачу во всей ея полнотѣ и раскрывали многія свойства ея, не замѣченныя при аналитическомъ изслѣдованіи. Такъ было съ рѣшеніемъ задачи о движеніи твердаго тѣла около его центра тяжести: рѣшеніе сперва было получено Эйлеромъ аналитическимъ путемъ, но оставалось затеряннымъ среди массы формулъ, и только благодаря простымъ и нагляднымъ интерпретаціямъ Пуансо предстало передъ глазами ученыхъ со всею ясностью.

Какая роль выпала на долю Пуансо при разъясненіи вопроса о движеніи твердаго тѣла, такая же принадлежитъ Гельмгольтцу въ разъясненіи вопроса о движеніи жидкости.

Почти всѣ работы Гельмгольца по механикѣ посвящены гидродинамикѣ, которою онъ не перестаетъ заниматься и до настоящаго времени. При этомъ можно сказать, что современная гидродинамика своимъ развитіемъ обязана главнымъ образомъ Гельмгольтцу. А между тѣмъ наиболѣе замѣчательная работа германскаго ученаго въ этой области: «Ueber Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen» появилась въ 1858 году, спустя 43 года послѣ того какъ формулы, заключаю-

щія въ себѣ принципъ сохраненія вихрей, были найдены Коші. Но Коши рассматривалъ полученный имъ результатъ только съ аналитической стороны и не предвидѣлъ той массы вопросовъ, которые могутъ быть рѣшены при надлежащемъ геометрическомъ освѣщеніи выводовъ.

Я постараюсь теперь съ возможною простотою выяснить вамъ установленное Гельмгольцомъ понятіе о вихрѣ.

Вообразимъ цилиндрической сосудъ конечной высоты (рис. 9)

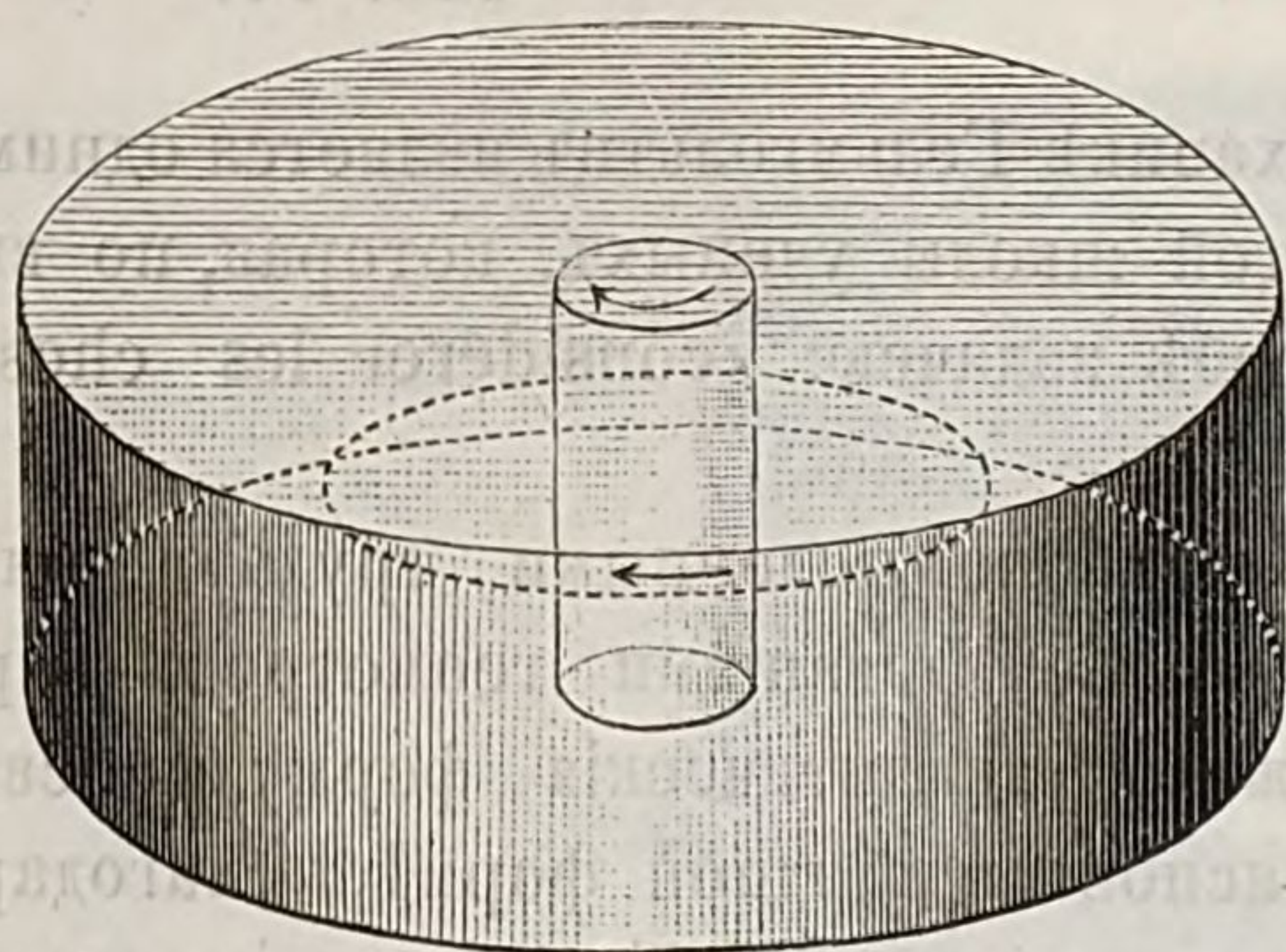


Рис. 9.

съ весьма большимъ основаніемъ, наполненный капельной или газообразной жидкостью, и предположимъ, что эта жидкость движется такъ: центральный цилиндрической столбикъ ея, нѣкоторой толщины, вращается, какъ твердое тѣло, около своей оси, а вся остальная масса жидкости крутится около этого столбика по кругамъ со скоростями, обратно пропорціональными разстоянію отъ оси столбика; причемъ эти скорости, убывая по мѣрѣ приближенія къ центральному столбику, переходятъ на его поверхности въ скорость столбика.

Такое движеніе жидкости и называется *вихремъ*, а характеризующій его цилиндрической столбикъ—*вихревымъ шнуромъ*. Быстрота вихревого движенія измѣряется *напряженіемъ вихря*. Такъ называетъ Гельмгольцъ произведеніе изъ площади нормальнаго (перпендикулярнаго) сѣченія столбика на его угловую скорость. Можно еще сказать, что напряженіе вихря равно половинѣ произведенія скорости жидкости при поверхности вихревого шнура на периметръ нормальнаго сѣченія шнура. Удвоенную величину этого произведенія называютъ *циркуляціею скорости* по нормальному сѣченію шнура. Вообще циркуляція скорости по какому-нибудь замкнутому контуру внутри движущейся жидкости есть произведеніе изъ длины контура на среднюю изъ воѣхъ составляющихъ скоростей точекъ контура по направленію контура.

Такъ какъ въ движеніи жидкости, изображенномъ на *рис. 9*, скорости обратно пропорціональны радіусу, то циркуляціи скорости по всѣмъ горизонтальнымъ кругамъ, имѣющимъ центръ на оси столбика и охватывающимъ его, равны между собою и, слѣдовательно, равны удвоенному напряженію вихря; а циркуляціи скорости по контурамъ, состоящимъ изъ отрѣзковъ двухъ круговъ между отрѣзками двухъ радіусовъ и лежащимъ внѣ шнура, равны нулю. Кромѣ этого легко доказать, что циркуляціи скорости по всякимъ замкнутымъ контурамъ, охватывающимъ шнуръ, равны удвоенному напряженію вихря, а циркуляціи скорости по всякимъ замкнутымъ контурамъ, его не охватывающимъ, равны нулю.

Это замѣчаніе позволяетъ намъ разыскивать вихревой шнуръ въ данной движущейся жидкости. Для этого надо провести замкнутый контуръ и опредѣлить для него циркуляцію. Если она не равна нулю, то сквозь контуръ проходитъ вихревой шнуръ. Послѣ этого надо уменьшать контуръ до тѣхъ поръ, пока циркуляція не измѣняется. Уменьшая его такимъ образомъ, мы можемъ подойти къ поверхности вихревого шнура.

Если въ разсмотрѣнномъ нами весьма широкомъ сосудѣ имѣется только одинъ вихрь, обусловленный прямымъ вихревымъ шнуромъ, то шнуръ будетъ оставаться неподвижнымъ. Но если бы въ этомъ

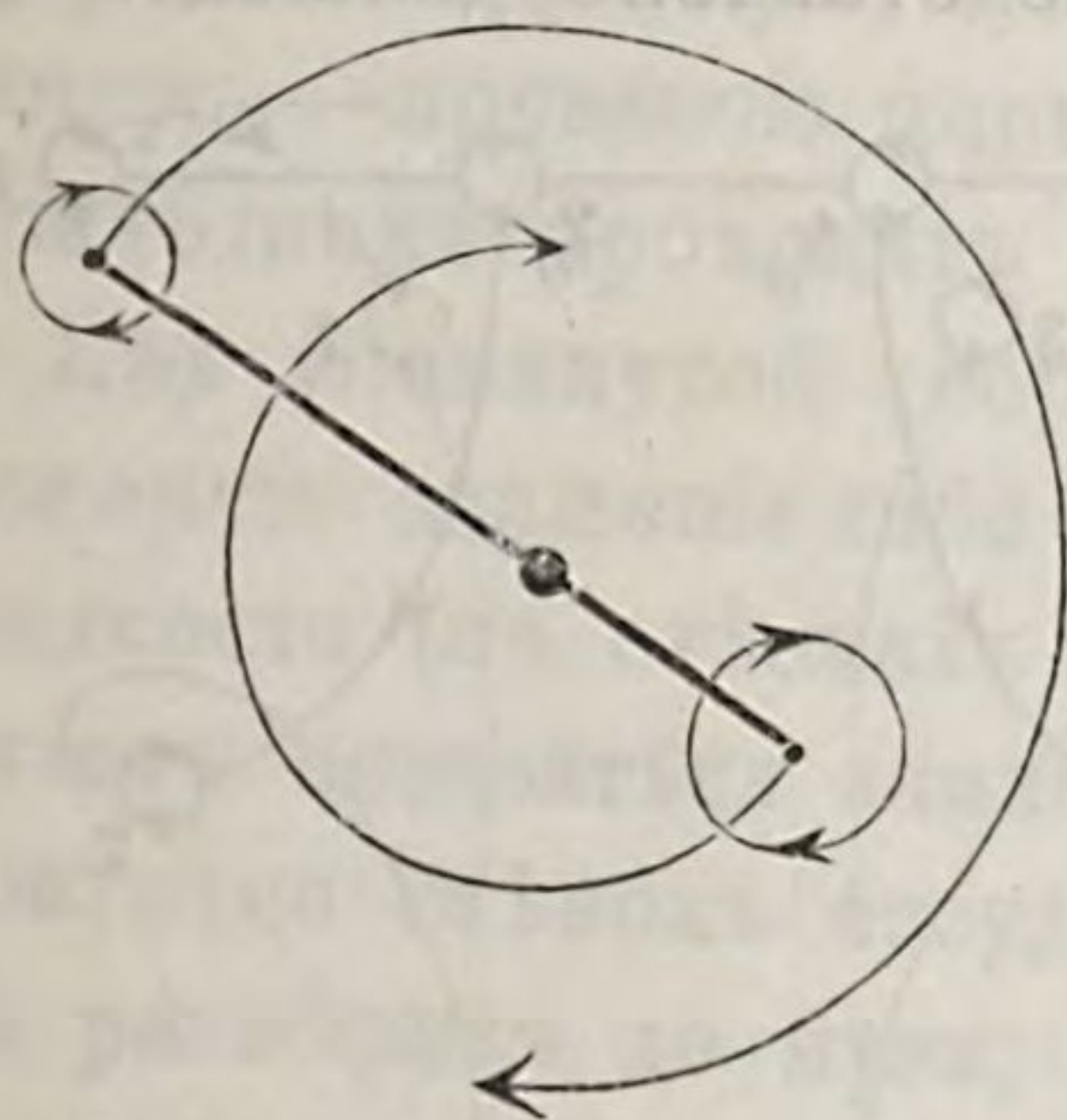


Рис. 10.

сосудѣ образовалось два такіе вихря, крутящіеся около параллельныхъ вихревыхъ шнуровъ, то шнуры стали бы двигаться. На *рис. 10* изображены въ планѣ два вихревые шнура съ различными напряженіями, вращающіеся въ одну сторону. Такъ какъ вихрь, соотвѣтствующій лѣвому вихревому шнуру вращаетъ всю жидкую массу около оси шнура по часовой стрѣлкѣ, то онъ сообщаетъ правому шнуру скорость, на-

правленную перпендикулярно радіусу внизъ, а вихрь праваго шнура по той же причинѣ сообщаетъ лѣвому шнуру скорость, направленную вверхъ. Вслѣдствіе этого происходитъ то, что оба шнура вращаются по часовой стрѣлкѣ около нѣкоторой точки; эта точка получится, если въ центрахъ двухъ шнуровъ мысленно

сосредоточимъ массы, пропорціональныя напряженію соотвѣтственныхъ вихрей, и отыщемъ центръ тяжести этихъ двухъ массъ.

Если бы вихри крутились въ различныя стороны, то вихревые шнуры (рис. 11) стали бы вращаться около центра, лежащаго со стороны шнура бѣльшаго напряженія, и вращеніе совершалось бы въ сторону движенія вихря бѣльшаго напряженія. Если бы при этомъ оба напряженія были равны, то этотъ центръ удалился бы въ безконечную даль, и оба шнура бѣжали бы впередъ (рис. 12) по направленію перпендикулярному къ прямой, соединяющей центры.

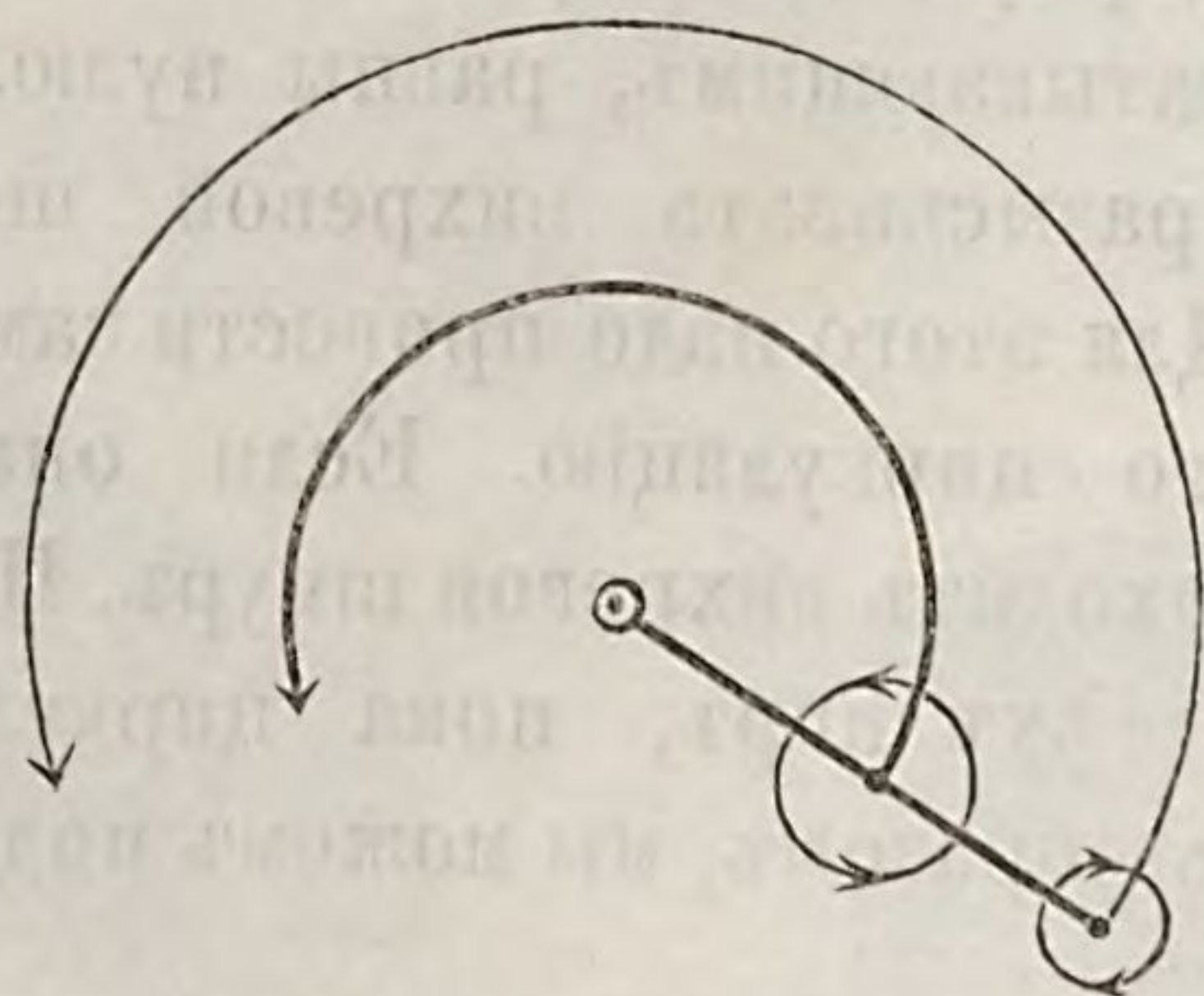


Рис. 11.

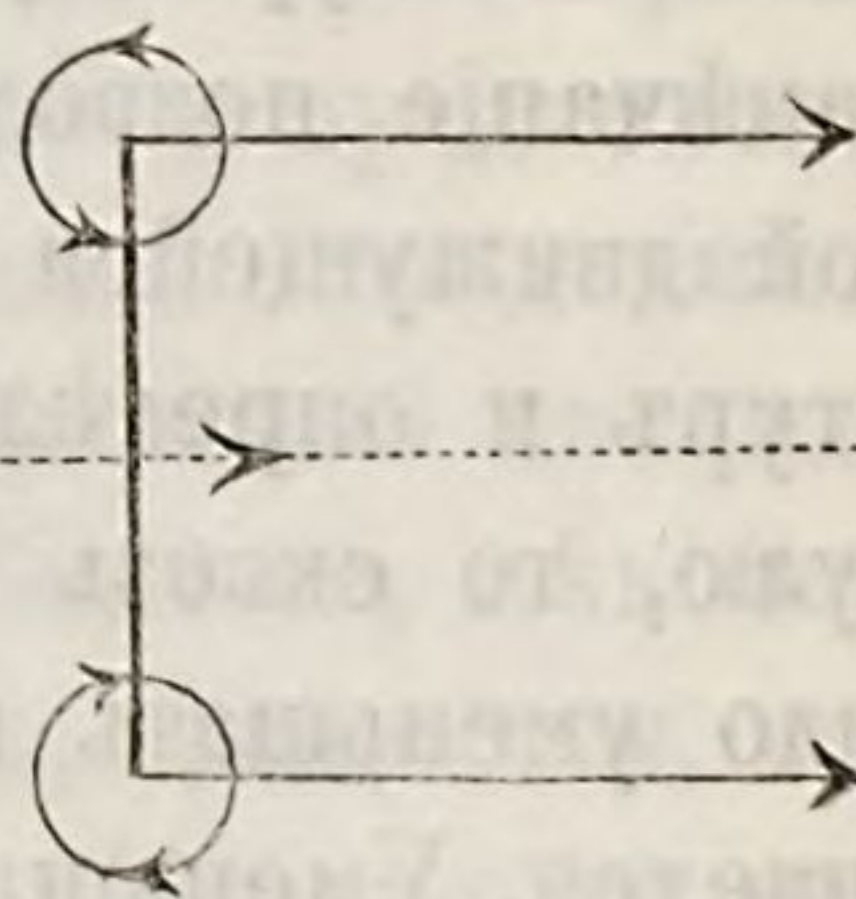


Рис. 12.

На рис. 13 представлены траекторіи (пути) трехъ вихревыхъ шнуровъ, изъ которыхъ (1) и (2) вращаются противъ часовой стрѣлки, а (3) по часовой стрѣлкѣ. На рис. 14 представлено движеніе че-

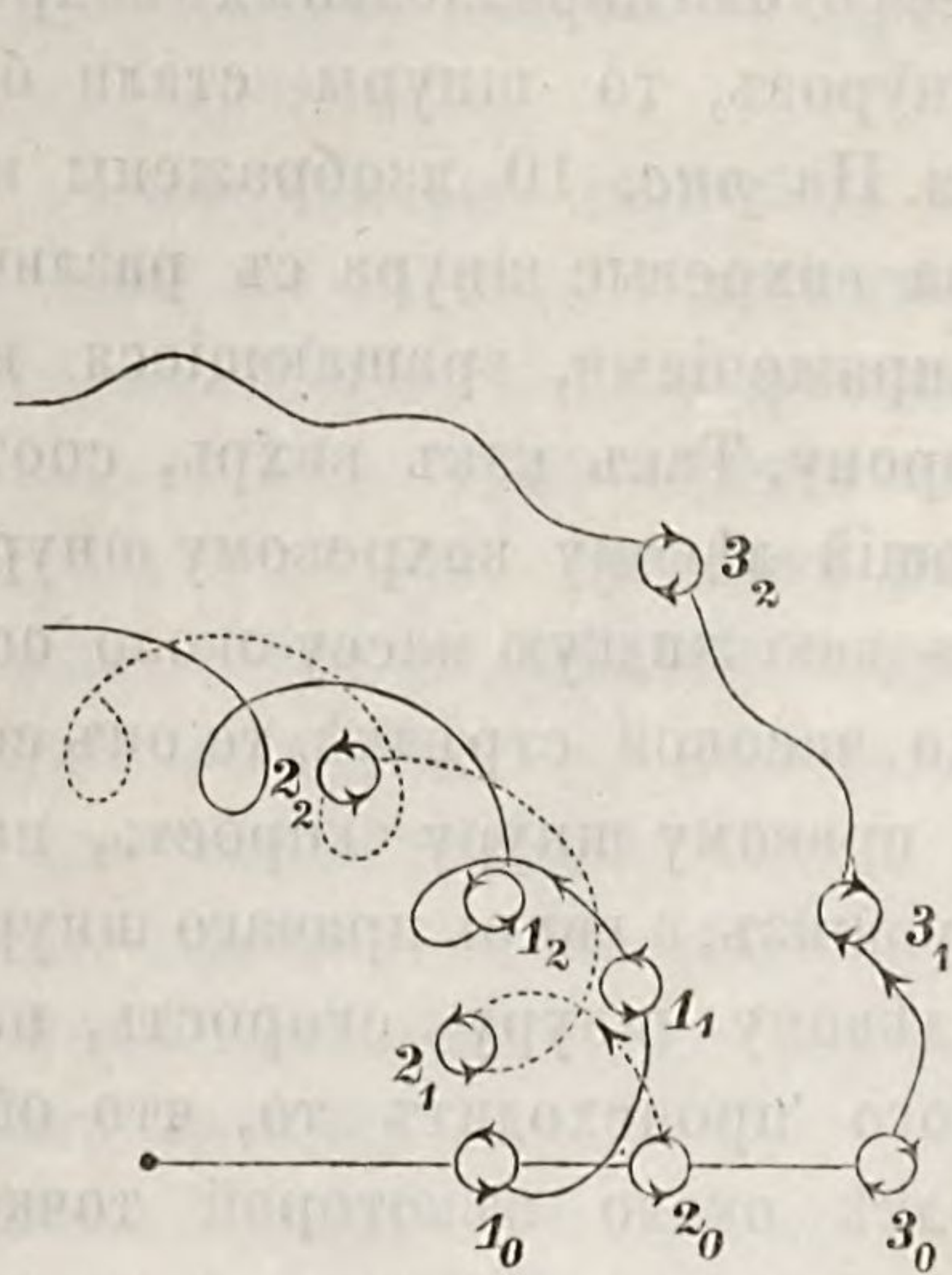


Рис. 13.

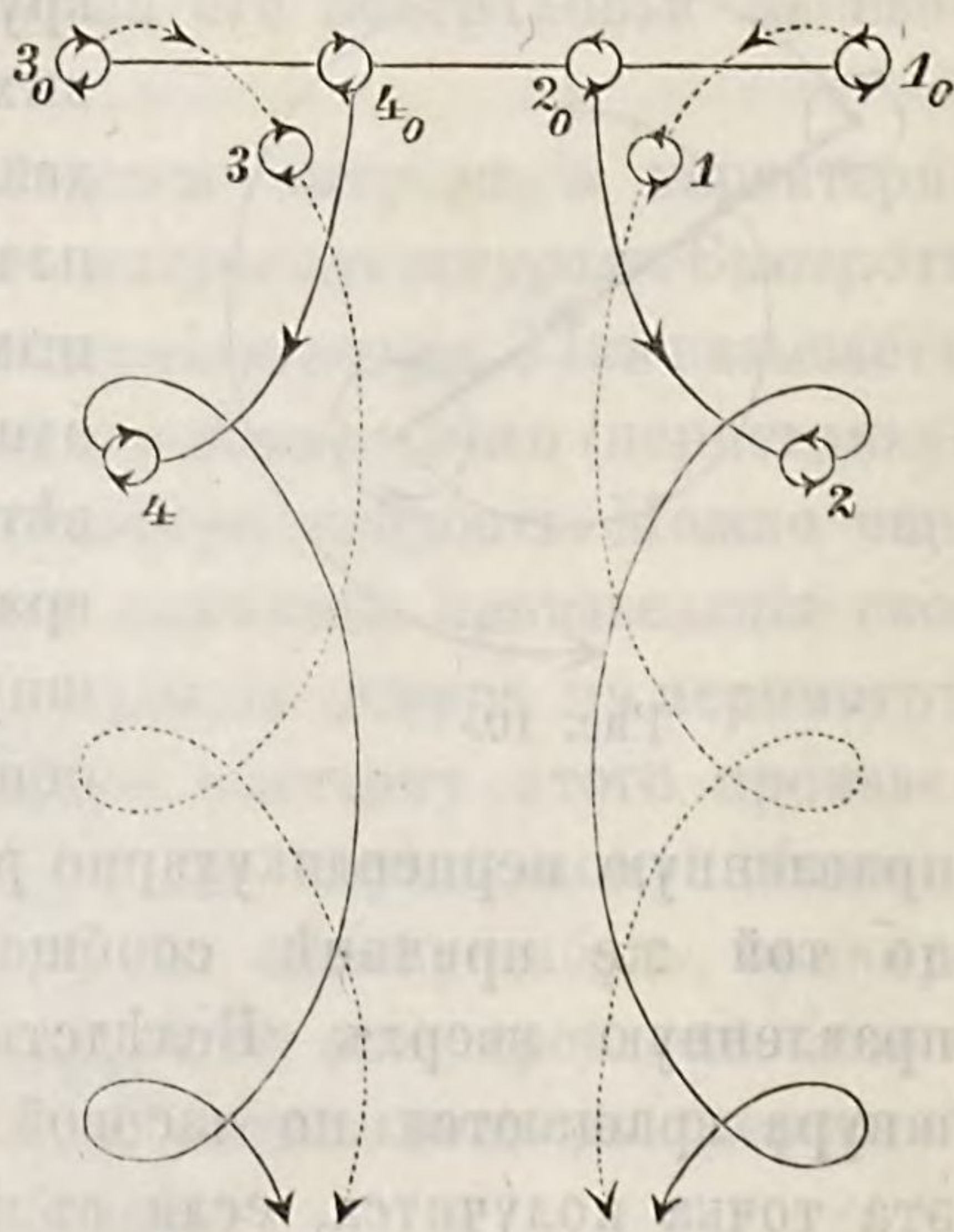


Рис. 14.

тырехъ прямыхъ параллельныхъ вихревыхъ шнуровъ, равныхъ по напряженію. При этомъ шнуры (3) и (4) вращаются по часовой стрѣлкѣ, а шнуры (1) и (2)—противъ нея.

Установленное нами понятіе о прямомъ вихревомъ шнурѣ, заключенномъ въ весьма широкомъ цилиндрическомъ сосудѣ, распространяется на вихревые шнуры, зародившіеся въ какой угодно массѣ жидкости. При этомъ вихревые шнуры могутъ разыскиваться съ помощію составленія циркуляцій по замкнутымъ контурамъ, какъ это было пояснено для случая прямолинейнаго шнура. Если разсматривается идеальная жидкость безъ тренія, находящаяся подъ дѣйствіемъ силъ, удовлетворяющихъ закону сохраненія энергіи, то для нея имѣетъ мѣсто слѣдующая замѣчательная теорема: циркуляція скорости, опредѣленная для всякаго замкнутаго контура въ жидкости, не измѣняется съ передвиженіемъ частичекъ жидкости, образующихъ контуръ. Изъ этой теоремы слѣдуетъ, что частицы жидкости, образующія вихревой шнуръ, все время движенія будутъ образовывать вихревой шнуръ съ тѣмъ же напряженіемъ вихря, и никакого новаго вихреваго шнура въ жидкости не можетъ образоваться. Дѣйствительно, разыскивая вихревой шнуръ съ помощію составленія циркуляцій по замкнутымъ контурамъ, мы будемъ находить по всѣмъ контурамъ, которые сначала не охватывали шнура, циркуляцію равную нулю, а для всѣхъ контуровъ, охватывающихъ шнуръ,—прежнюю циркуляцію; изъ чего заключимъ, что внутри послѣднихъ проходитъ вихревой шнуръ прежняго напряженія.

Изъ упомянутой теоремы слѣдуетъ также, что вихревой шнуръ все время движенія либо будетъ лежать своими концами на границахъ жидкости (на стѣнкахъ сосуда или на свободной поверхности), либо будетъ оставаться замкнутымъ. Въ самомъ дѣлѣ, для того чтобы сойти со стѣнокъ сосуда, основаніе вихря должно бы уменьшиться въ размѣрахъ до нуля; а такъ какъ циркуляція скорости по контуру основанія должна оставаться неизмѣнною, то схождение потребовало бы, чтобы скорость крутящейся жидкости при подшвѣ шнура возрасла до безконечности.

Гидродинамическое давленіе жидкости уменьшается при возрастаніи скорости; поэтому, при уменьшеніи основанія вихря на стѣнкѣ сосуда, будетъ быстро уменьшаться давленіе въ этомъ мѣстѣ, и остальная масса жидкости будетъ надавливать на частицы конца вихреваго шнура и препятствовать ихъ схожденію

со стѣнки. Вихревой шнуръ, такъ-сказать, присасывается своими концами къ стѣнкамъ сосуда. Если конецъ шнура лежитъ на свободной поверхности, то подобное присасываніе можно замѣтить по воронкѣ, образующейся на свободной поверхности при подошвѣ шнура.

Если концы вихревого шнура не лежатъ на границахъ жидкости, то они должны быть между собою сомкнуты, и такимъ образомъ получается замкнутый вихревой шнуръ, — такой, въ которомъ такъ-сказать, оба конца присасываются другъ къ другу.

Самый простой видъ замкнутого вихревого шнура представляетъ намъ вихревое кольцо, представленное на *рис. 15*. Всѣ частицы

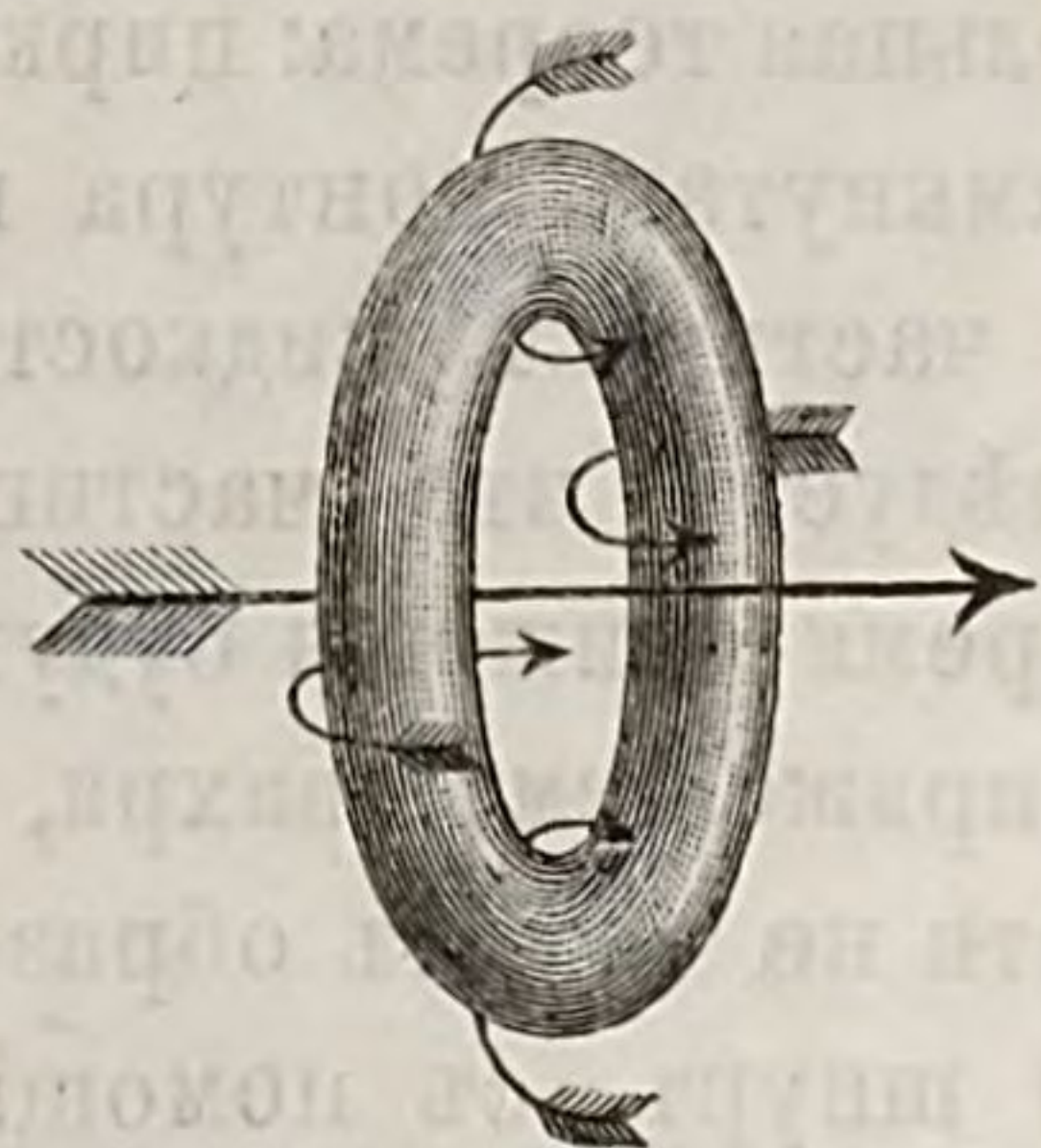


Рис. 15.

жидкости, лежащія внѣ кольца, движутся при этомъ по замкнутымъ кривымъ, проходящимъ сквозь кольцо, такъ что циркуляціи скорости по всѣмъ этимъ кривымъ одинаковы и равны циркуляціи скорости на контурѣ перпендикулярнаго сѣченія кольца; переходя же во внутрь кольца, мы будемъ получать для траекторій его частичекъ различныя циркуляціи. Скорости точекъ жидкости самыя большія на поверхности кольца; онѣ уменьшаются по мѣрѣ удаленія отъ этой поверхности внутрь кольца и равны нулю на нѣкоторой осевой линіи; онѣ уменьшаются также и по мѣрѣ удаленія отъ кольца въ окружающую его массу жидкости. Для точекъ жидкости, значительно удаленныхъ отъ кольца, скорости обратно пропорціональны кубамъ разстоянія отъ кольца.

Мы видѣли, что зародившіеся въ жидкой массѣ два прямые параллельные шнура, около которыхъ жидкость крутится съ равными напряженіями вихря въ противоположныя стороны, будутъ бѣжать по направленію перпендикулярному къ проведенной чрезъ нихъ плоскости. По той же причинѣ вихревое кольцо не будетъ оставаться неподвижнымъ, а будетъ бѣжать по направленію, перпендикулярному къ плоскости кольца, въ ту сторону, въ которую жидкость вытекаетъ изъ кольца. Мы видимъ на *рис. 15*, что частицы жидкой массы, движущіяся по верхнимъ замкнутымъ траекторіямъ, будутъ надавливать на нижній край кольца и двигать

его вправо; точно также частицы жидкой массы, движущіяся по нижнимъ замкнутымъ траекторіямъ, будутъ надавливать на верхній край кольца и тоже двигать его вправо. Все кольцо будетъ перемещаться равномерно въ правую сторону, перенося за собою крутящуюся около него жидкость. Это движеніе будетъ тѣмъ быстрѣе, чѣмъ болѣе напряженіе вихря и чѣмъ менѣе размѣръ кольца.

Мы сказали, что внутри идеальной жидкой массы зародившіеся вихревые шнуры должны всегда сохраняться, и новыхъ шнуровъ образоваться не можетъ; а между тѣмъ въ природѣ мы часто видимъ зарожденіе и погасаніе вихрей. Это происходитъ отъ того, что наши вода и воздухъ обладаютъ нѣкоторою степенью вязкости, вслѣдствіе которой вышеприведенные теоретическіе результаты нѣсколько видоизмѣняются. Съ одной стороны вихри могутъ зарождаться (преимущественно въ тѣхъ мѣстахъ, въ которыхъ происходитъ скольженіе другъ по другу двухъ слоевъ жидкости съ различными скоростями); съ другой стороны зародившіеся вихри не сохраняются, а постепенно потухаютъ.

Гельмгольтцъ въ своемъ вышеупомянутомъ сочиненіи указываетъ простой способъ образованія вихревыхъ полукольцевъ при поверхности воды. Проведя полупогруженной ложкой въ сосудѣ воды, или весломъ съ лодки по водѣ, мы замѣчаемъ образованіе двухъ воронокъ, которыя бѣгутъ впередъ и вращаются въ противоположныя стороны. Эти воронки суть концы полукруговаго вихреваго шнура, образовавшіеся отъ того, что ложка или весло, унося за собою жидкую массу, заставляетъ ее скользить по жидкости, прилегающей съ боковъ. Эта масса треніемъ захватываетъ прилегающую жидкость и увлекаетъ ее въ вихревое движеніе.

Образованіе прямыхъ вихрей Гельмгольтцъ демонстрировалъ однимъ прекраснымъ опытомъ, описаннымъ въ его рѣчи о вихревыхъ буряхъ. Мы здѣсь повторимъ этотъ опытъ. Въ днѣ цилиндрическаго сосуда (рис. 16) сдѣлано небольшое отверстіе, заткнутое пробкою. Сосудъ наполненъ водою. Посредствомъ струи воздуха, направляемой трубкою на одинъ край свободной поверхности воды, приводимъ жидкость въ медленное вращательное движеніе. Послѣ этого открываемъ пробку. Жидкость начинаетъ истекать изъ отверстія, подходя отъ краевъ сосуда къ его оси. Такъ

какъ циркуляціи скорости по окружностямъ, проведеннымъ изъ точки на оси цилиндра чрезъ однѣ и тѣ же частицы жидкости,

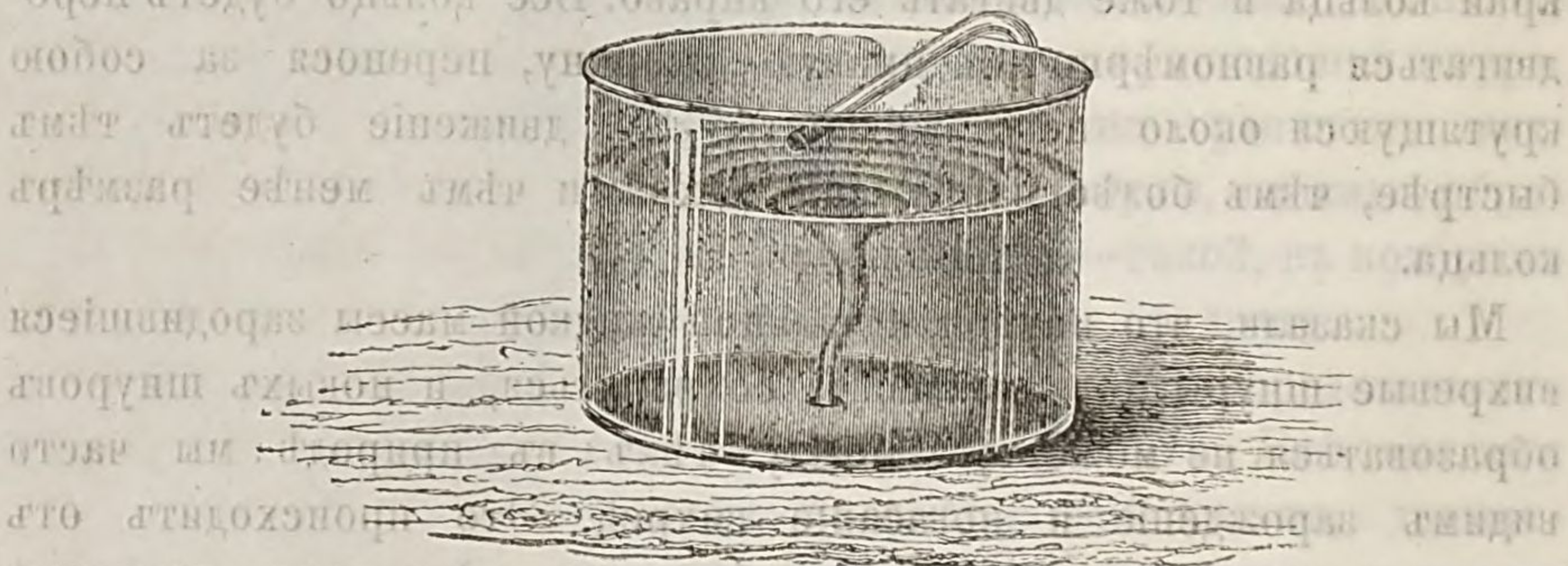


Рис. 16.

не должны измѣняться со временемъ, то съ уменьшеніемъ радіусовъ этихъ окружностей будетъ возрастать скорость частицъ жидкости. Вращеніе жидкости по мѣрѣ приближенія къ оси будетъ становиться все быстрее и быстрее, и мы замѣтимъ рѣзко образовавшійся вихрь, надъ которымъ появится воронка, все болѣе и болѣе углубляющаяся.

Я покажу еще образованіе вихря посредствомъ быстро вращающагося диска. На рис. 17 представленъ приборъ проф. О. Н.

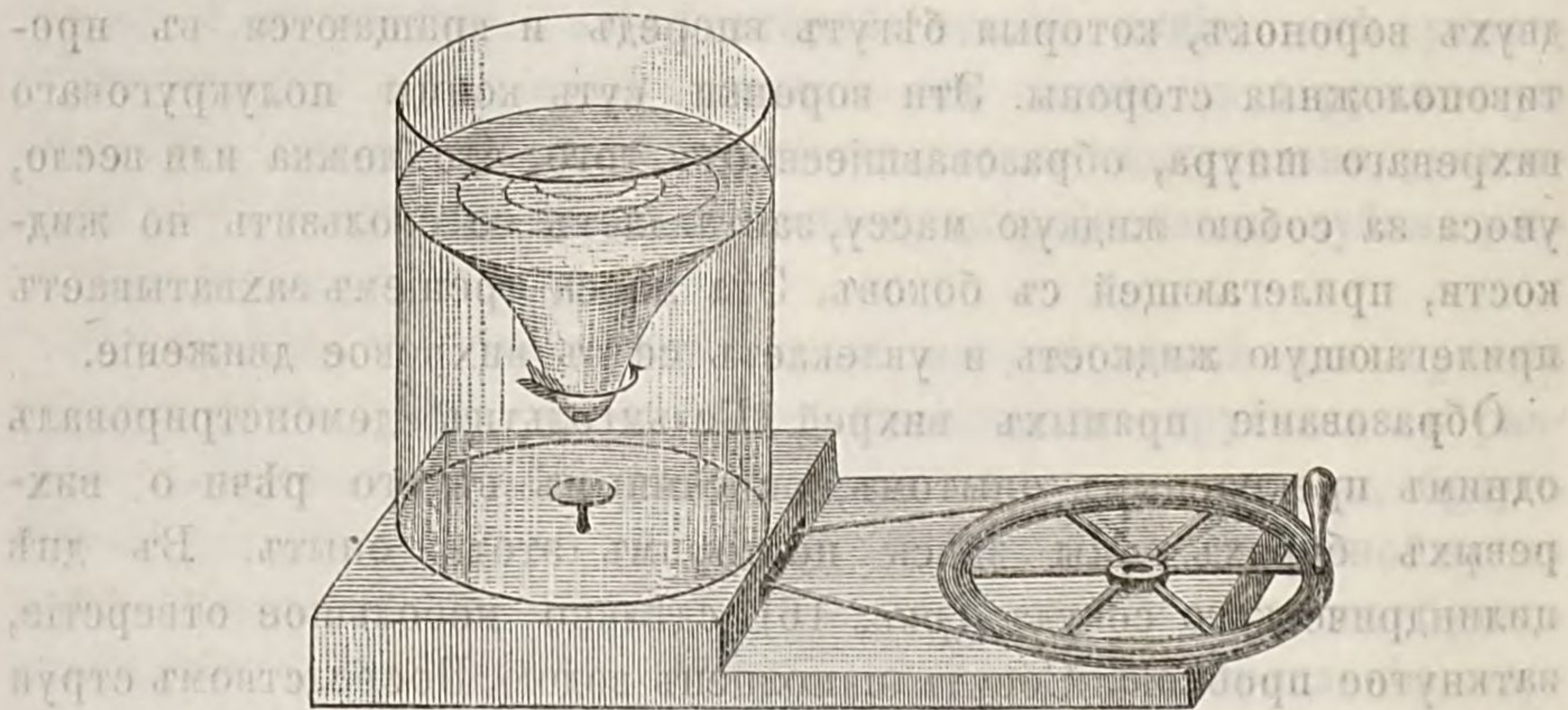


Рис. 17.

Шведова. Чрезъ дно стекляннаго цилиндрическаго сосуда проведена въ сальникѣ вертикальная ось, оканчивающаяся небольшимъ

дискомъ. Эта ось посредствомъ безконечнаго ремня можетъ быть приведена въ быстрое вращеніе. Въ сосудъ наливается вода и масло, которое всплываетъ поверхъ воды. Вращая дискъ, мы замѣчаемъ, что вода постепенно приходитъ во вращеніе и образуетъ надъ дискомъ вихревой шнуръ, который замѣчается по воронкѣ

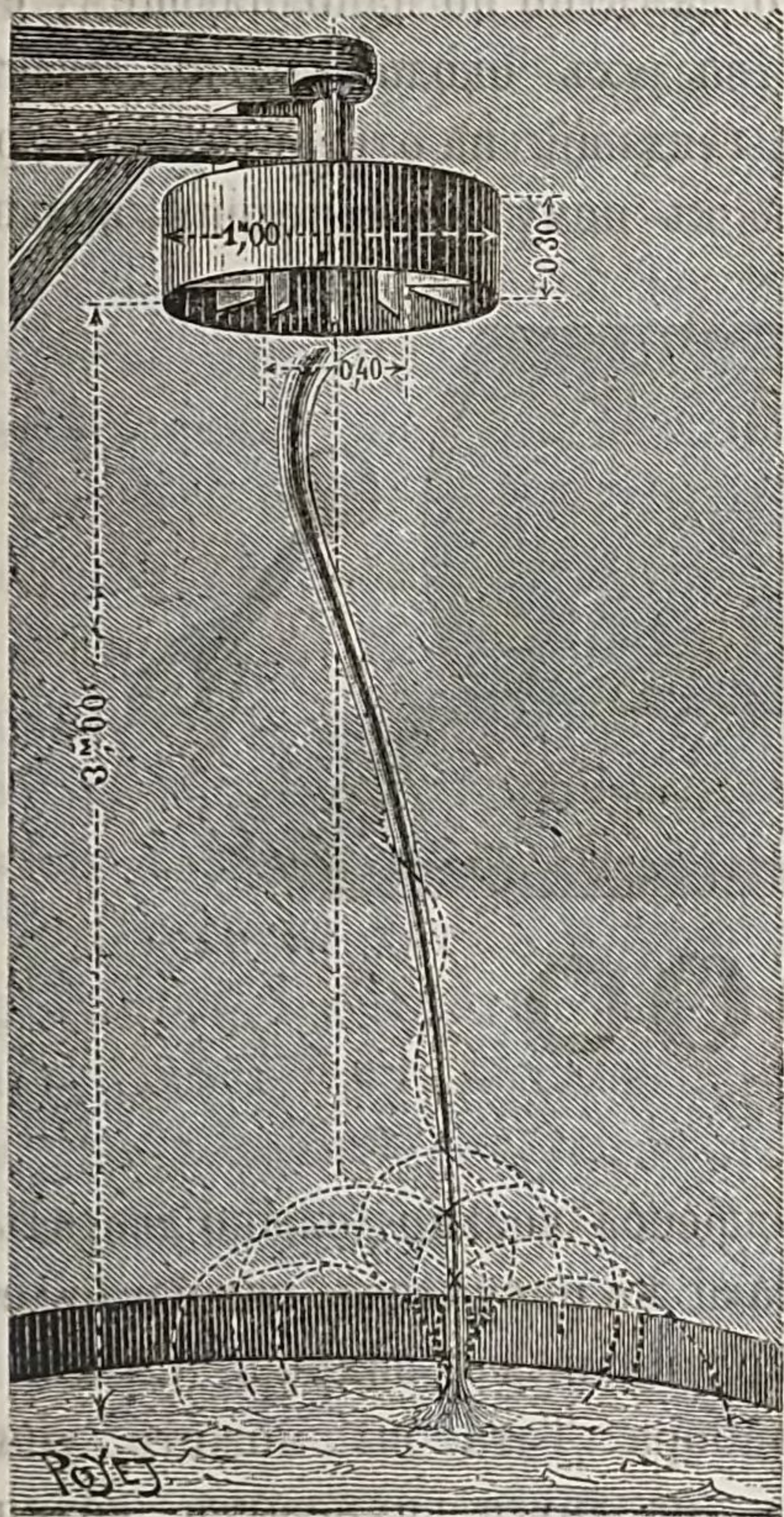


Рис. 18.

на поверхности раздѣла воды и масла. Эта воронка заполняется масломъ, которое въ видѣ нисходящаго смерча спускается къ диску. Въ тотъ моментъ, когда масло приходитъ въ соприкосновеніе съ дискомъ, вся его масса разбрасывается по водѣ.

Еще болѣе интересенъ способъ образованія прямыхъ вихрей, предложенный Вейеромъ. Воздухъ, находящійся надъ поверхностью воды, приводятъ во вращеніе съ помощію особой быстро вращающейся крылатки, помѣщенной на нѣкоторой высотѣ надъ водою (рис. 18). Воздушный вихрь захватываетъ по своей оси воду и поднимаетъ ее въ видѣ восходящаго смерча до самой крылатки.

Вихревые кольца въ воздухѣ демонстрируются съ помощію имѣющагося здѣсь прибора Тэта. Онъ состоитъ изъ ящика (рис. 19), задняя сторона котораго затянута кожею, а въ передней сдѣлано отверстіе съ острыми краями. Форму отверстія можно по желанію (пользуясь вставными пластинками) дѣлать круглою, эллиптическою, четырехугольною и т. д.

Въ ящикъ ставятъ два сосуда: въ одинъ наливаютъ соляной кислоты, а въ другой нашатырнаго спирта. Вслѣдствіе этого въ немъ

образуется густой туманъ отъ подвѣшенныхъ частичекъ хлористаго аммонія (нашатыря). Ударяя рукою или деревяннымъ молоткомъ по натянутой кожѣ, мы быстро выталкиваемъ изъ ящика нѣкоторую массу воздуха вмѣстѣ съ нашатырнымъ туманомъ. Эта масса, скользя посреди окружающаго неподвижнаго воздуха, увлекаетъ его въ вихревое движеніе, а сама завертывается въ вихревое кольцо, которое будетъ хорошо замѣтно по наполняющему его туману. При этомъ понятно, что воздухъ около кольца будетъ вращаться такъ, что наблюдатель, глядящій на отверстіе прибора, видитъ массу воздуха, выбѣгающую къ нему изъ середины кольца.

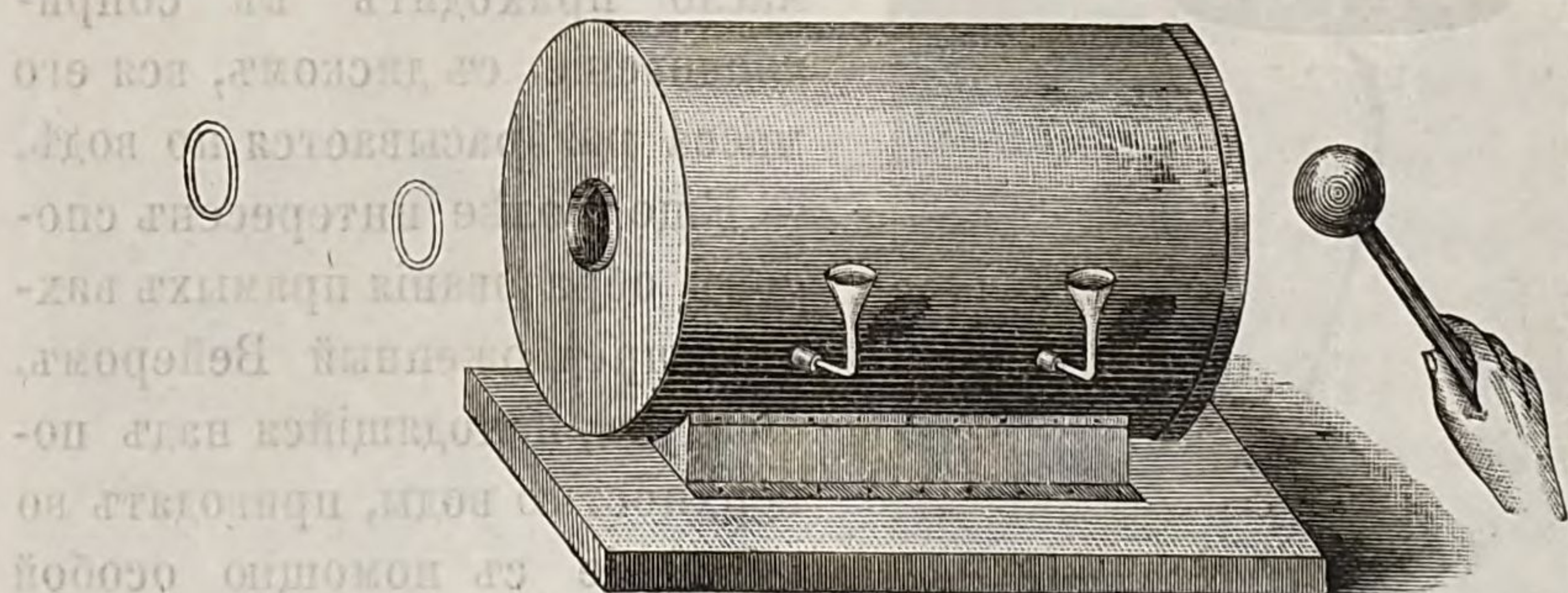


Рис. 19.

Изъ этого слѣдуетъ, что образовавшееся кольцо должно двигаться отъ отверстія прибора. Мы показали на рисункахъ, каково будетъ взаимодѣйствіе нѣсколькихъ прямолинейныхъ вихрей. Слѣдя за кольцами, выбѣгающими изъ прибора Тэта вы можете усмотрѣть случаи взаимодѣйствія другъ на друга вихревыхъ колецъ. Вы видите, что кольца, подбѣгающія другъ къ другу бокомъ, взаимно отталкиваются и начинаютъ пульсировать; кольца же, идущія одно за другимъ, взаимно притягиваются и проходятъ одно сквозь другое. Этотъ интересный случай подробно изслѣдованъ теоретически Гельмгольцомъ. Онъ показалъ, что заднее кольцо должно уменьшаться въ размѣрахъ и увеличивать свою скорость, а переднее кольцо должно увеличиваться въ размѣрахъ и уменьшать свою скорость. Это будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока заднее кольцо не пройдетъ сквозь переднее. Послѣ

того переднее кольцо дѣлается заднимъ, и явленіе повторяется. Къ сожалѣнію такую игру двухъ колецъ приходится наблюдать рѣдко, только при особенно удачномъ ихъ образованіи.

То обстоятельство, что кольцо несетъ быстро крутящійся около него воздухъ, мы можемъ сейчасъ же обнаружить, направляя его на зажженную свѣчку. Вы видите, что свѣча, стоящая на большомъ разстояніи отъ прибора, потухаетъ всякій разъ, какъ пламя ея задѣвается кольцомъ. Я помню, что во времена моей юности я задумывался надъ объясненіемъ причины, вслѣдствіе которой, стрѣляя пистолетомъ изъ пистолета, можно тушить свѣчу на большомъ разстояніи. Теперь для меня ясно, отчего это происходитъ: изъ дула пистолета выбѣгаетъ вихревое кольцо, которое можетъ перемѣщаться довольно далеко, не теряясь.

До сихъ поръ кольца выпускались нами изъ круглаго отверстія. Попробуемъ теперь образовать ихъ изъ отверстія эллиптическаго и квадратнаго. Мы видимъ, что при этомъ кольца не сохраняютъ формы отверстія, но колеблются, стремясь перейти въ круглое кольцо, которое является такимъ образомъ единственною устойчивою формой замкнутаго вихреваго шнура.

Разсмотримъ теперь вліяніе на вихревыя кольца постороннихъ предметовъ. Подводя къ движущемуся кольцу твердыя тѣла съ боку, мы видимъ, что они отталкиваютъ кольцо. Но если кольцо бѣжитъ на параллельную его плоскости неподвижную плоскость, то оно, подходя къ ней, все болѣе и болѣе увеличивается въ размѣрахъ, такъ-сказать растекается по плоскости. Если мы дадимъ кольцу набѣжать на ножъ, плоскость котораго проходитъ чрезъ ось кольца, то послѣднее разрѣжется ножомъ на два полукольца, концы которыхъ будутъ скользить по поверхности ножа; но, пройдя эту поверхность, концы опять сомкнутся и кольцо возстановится.

Неизмѣняемость и неразрушимость вихревыхъ колецъ въ идеальной жидкости навела В. Томсона на остроумную гипотезу вихревыхъ атомовъ. Предположивъ, что все пространство вселенной наполнено такою жидкостью, онъ принимаетъ, что въ этой жидкости существуетъ безчисленное множество безконечно-малыхъ замкнутыхъ вихрей, которые представляютъ вѣчные и неизмѣнные атомы вещества. Взаимодѣйствуя другъ на друга, эти замкнутые вихри соединяются въ группы и образуютъ молекулы, и т. д.

Кромѣ дымныхъ колецъ въ воздухѣ, можно еще наблюдать воздушныя кольца въ водѣ. Это интересное явленіе, кажущееся на первый взглядъ парадоксальнымъ, весьма просто объясняется тѣмъ, что вслѣдствіе центробѣжной силы значительно понижается давленіе на оси вихреваго кольца. Если при образованіи вихреваго кольца мы введемъ въ воду нѣсколько пузырьковъ воздуха, то они сейчасъ же заберутся въ то мѣсто жидкости, гдѣ давленіе самое малое, т.-е. на ось кольца, и будутъ тамъ удерживаться все время, пока кольцо движется вдоль имѣющейся массы воды, несмотря на то, что воздухъ въ 800 разъ легче воды.

Я покажу здѣсь приборъ для образованія воздушныхъ колецъ въ водѣ, который представляетъ видоизмѣненіе прибора проф. Осборна Рейнольдса. Здѣсь имѣется (рис. 20) большая стеклянная ванна,

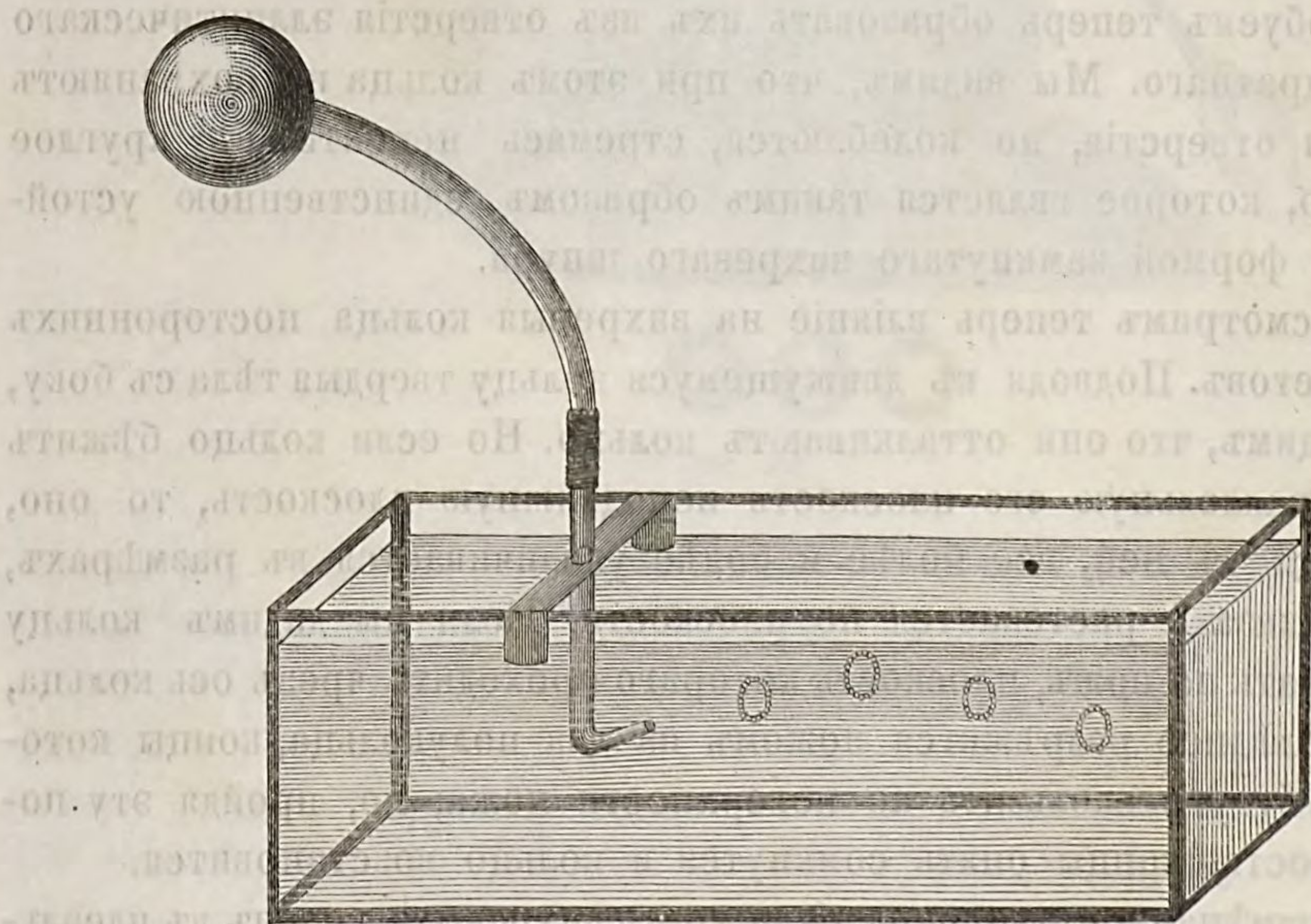


Рис. 20.

наполненная водою; въ нее погружена изогнутая подъ прямымъ угломъ широкая стеклянная трубка. На верхній конецъ трубки, выходящій изъ воды, надѣваютъ рукавъ отъ резиноваго шарика, посредствомъ котораго можно вгонять въ трубку воздухъ и выталкивать изъ нея воду. Быстро сдвигая шарикъ, выталкиваемъ

изъ горизонтальнаго колѣна трубки столбикъ воды, и дѣлаемъ это такъ, чтобы воздухъ достигъ почти до нижняго конца трубки, но не вышелъ изъ нея въ большомъ количествѣ. Колонна воды, выбѣжавъ въ спокойную окружающую жидкость, завертывается въ вихревое кольцо. При этомъ, такъ какъ вмѣстѣ съ водою будетъ вытолкнуто нѣсколько пузырьковъ воздуха, то они, разбившись на мелкіе пузырьки, расположатся по оси кольца. Вслѣдствіе этихъ пузырьковъ вихревое кольцо будетъ хорошо замѣтно: оно будетъ образовано какъ бы изъ блестящихъ зеренъ бисера. Пробѣгая вдоль всей ванны, кольца ударяются въ противоположную стѣнку ея и здѣсь, расширяясь, пропадаютъ.

Мы можемъ съ помощію нашего прибора отчетливо демонстрировать отраженіе колецъ отъ свободной поверхности воды. Для этого стоитъ только повернуть трубку, чтобы она направила своимъ нижнимъ концомъ немного вверхъ. Кольцо, подбѣжавъ къ свободной поверхности жидкости, отъ нея отражается, причемъ уголъ паденія равенъ углу отраженія.

Такъ какъ дѣйствительныя жидкости обладаютъ вязкостью и трутся о стѣнки тѣхъ сосудовъ, въ которыхъ онѣ движутся, то онѣ при своемъ движеніи постоянно заполняются вихревыми шнурами. Гельмгольтцъ показалъ, что жидкую массу во всякомъ воображаемомъ движеніи можно разсматривать, какъ непрерывно заполненную вихревыми шнурами, и далъ средства изслѣдовать движенія этихъ шнуровъ.

Мы такъ долго останавливались на первой работѣ Гельмгольца по гидродинамикѣ, потому что она представляетъ самый капитальный трудъ его въ этой области. Скажемъ теперь нѣсколько словъ о другихъ его работахъ.

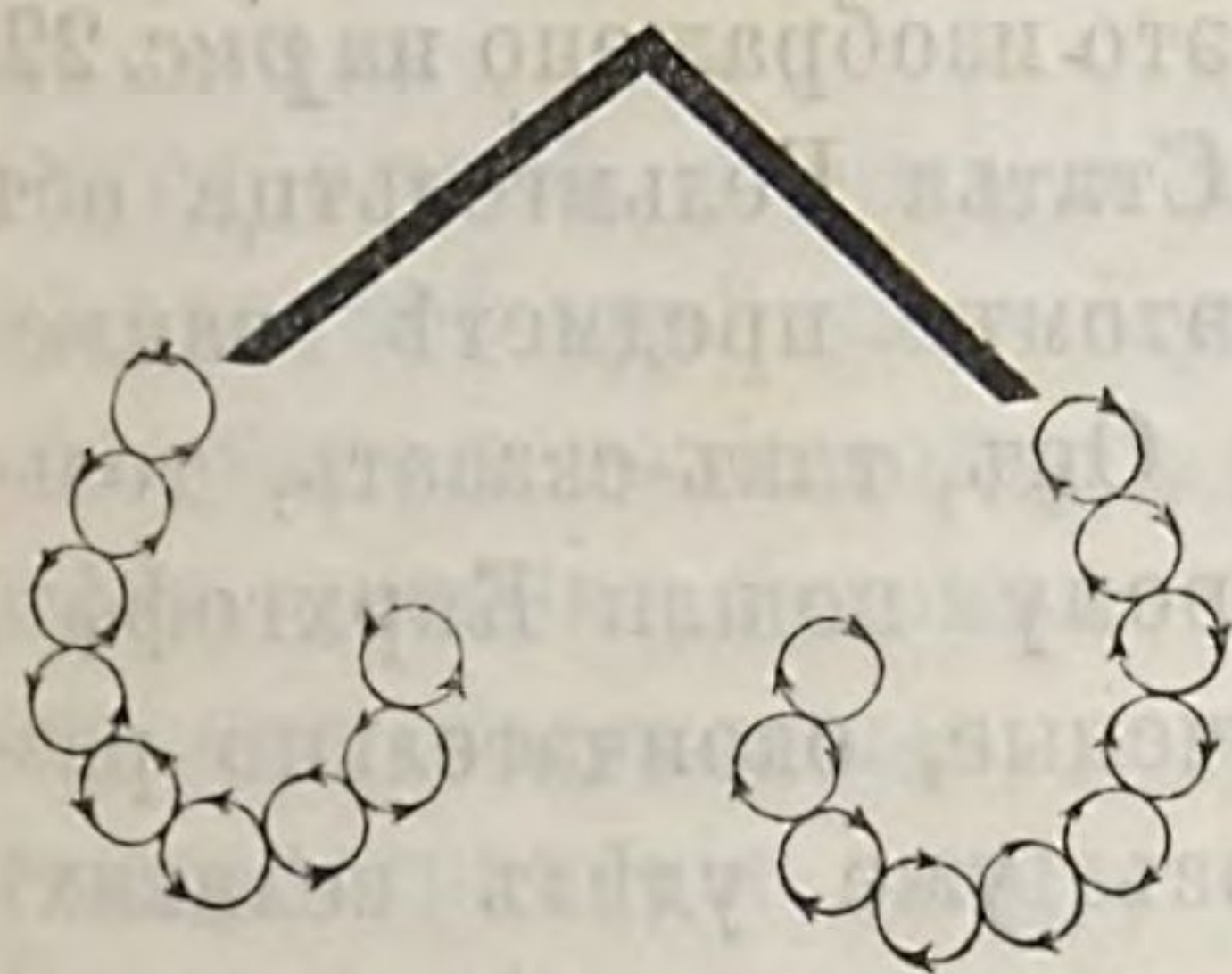


Рис. 21.

Мы упомянули, что можно образовать вихревой шнуръ, проводя ложечкой по водѣ. Предположимъ, что разрѣзъ ложечки представляетъ стороны нѣкаго угла (рис. 21). Вмѣсто того чтобы двигать ложечку, можно держать ее неподвижно и заставить воду на нее набѣгать. Вникнемъ подробнѣе въ при-

чину, вслѣдствіе которой при этомъ образуются вихревые шнуры. Струи жидкости, оббѣгая контуръ начерченного угла, будутъ сходиться съ его угломъ съ нѣкоторою скоростью; жидкость же, лежащая за угломъ, будетъ оставаться почти неподвижной. Вслѣдствіе этого образуются поверхности раздѣла, по которымъ будетъ отдѣляться бѣгущая жидкость отъ неподвижной. На этихъ поверхностяхъ въ жидкости, обладающей нѣкоторою степенью вязкости, зародятся вихревые шнуры, сѣченія которыхъ отмѣчены на рисункѣ кружками. Эти шнуры завертываются въ тѣ два вихря, которые мы замѣчаемъ за ложечкой въ видѣ двухъ воронокъ.

Эти разсужденія показываютъ, какъ важно для гидродинамики изслѣдовать движенія жидкости, сопровождающіяся образованіемъ поверхностей раздѣла. Сначала не представлялось возможнымъ приступить къ этой трудной задачѣ. Гельмгольтцу первому пришла мысль, могущая послужить для разрѣшенія подобныхъ вопросовъ. Онъ пояснилъ свою идею, опредѣливъ форму струи, вбѣгающей въ пространство, заключенное между двумя стѣнками, изъ сосуда, окружающаго эти стѣнки, какъ это изображено на *рис. 22*.

Статья Гельмгольца объ этомъ предметѣ заключается въ себѣ всего десятокъ страницъ. Онъ, такъ-сказать, только намѣтилъ путь изслѣдованія, по которому пошли Кирхгоффъ, лордъ Рейли, Фохтъ и многіе другіе ученые, окончательно разработавшіе рѣшеніе вопроса. Но таковъ уже удѣлъ великихъ ученыхъ, что имъ всегда приходится стоять во главѣ научныхъ открытій. На *рис. 23* изображено соудареніе двухъ струй жидкости, изслѣдованное по упомянутому способу Фохтомъ.

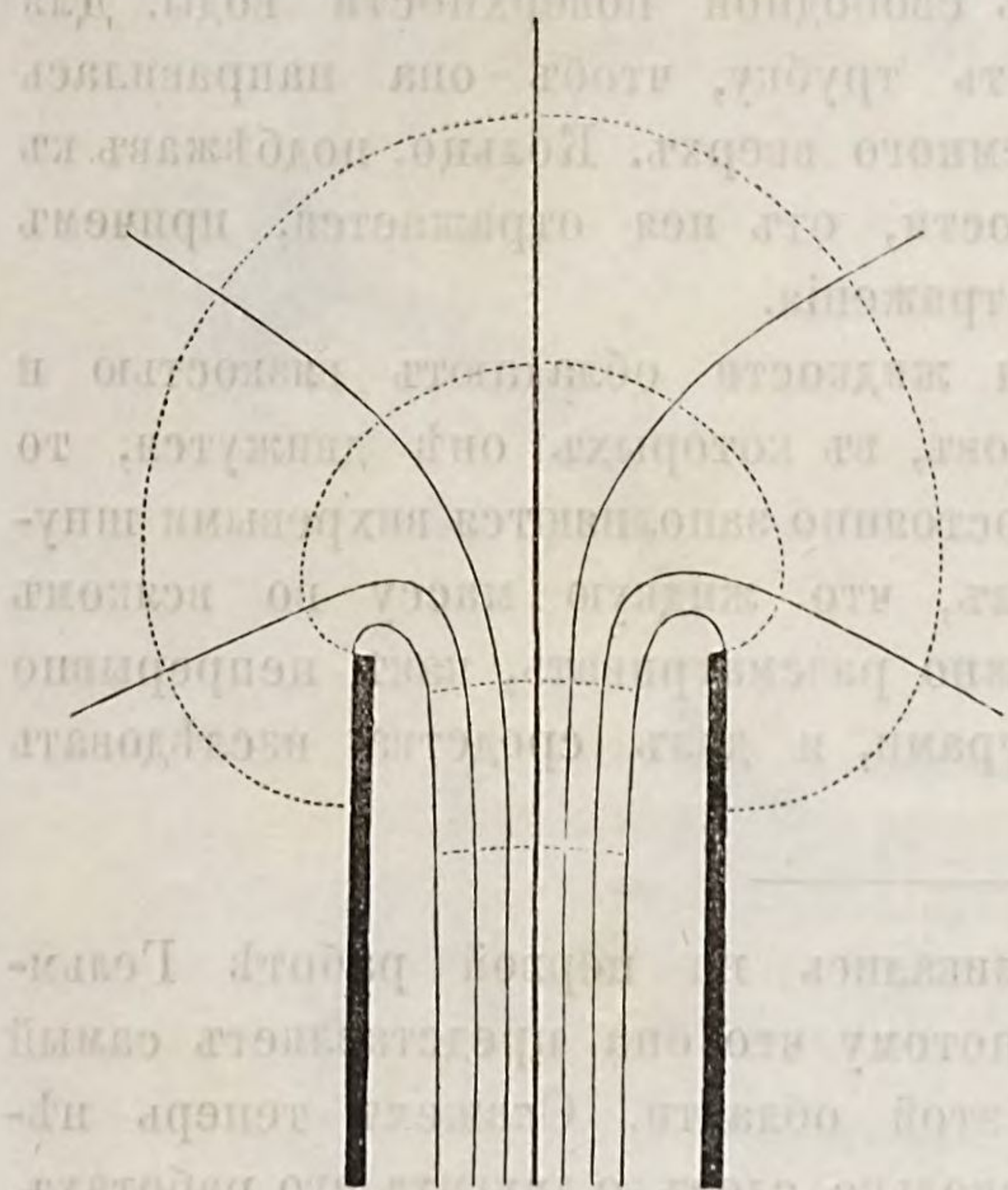


Рис. 22.

Ни время, которымъ я располагаю, ни спеціальный характеръ предмета, не позволяютъ мнѣ поговорить съ вами о многихъ дру-

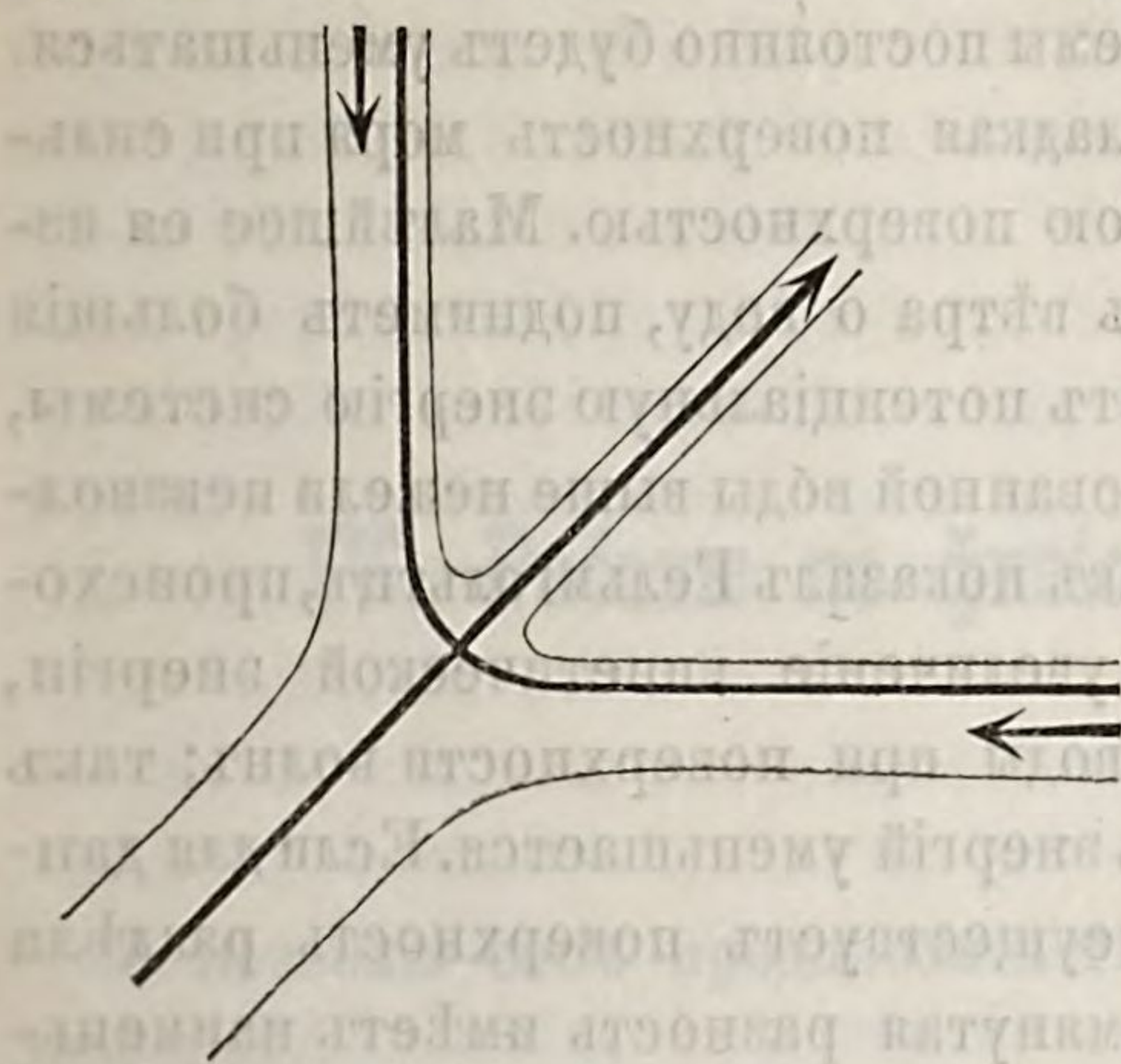


Рис. 23.

гихъ работахъ знаменитаго германскаго ученаго по механикѣ. Онъ писалъ и о движеніи жидкости съ треніемъ, и о направляемости воздушныхъ шаровъ, и о циклическихъ системахъ, и т. д.

Но я не могу умолчать о послѣдней работѣ маститаго ученаго, совершенной прошлымъ годомъ (1890), такъ-сказать накануне его семидесятилѣтняго юбилея. Это работа объ энергіи вѣтра и взволнован-

наго моря. Въ ней Гельмгольтцъ, какъ всегда, является передъ нами во всей силѣ своей оригинальной мысли и своего тонкаго анализа.

Вообразимъ (рис. 24) поверхность моря, соприкасающуюся съ

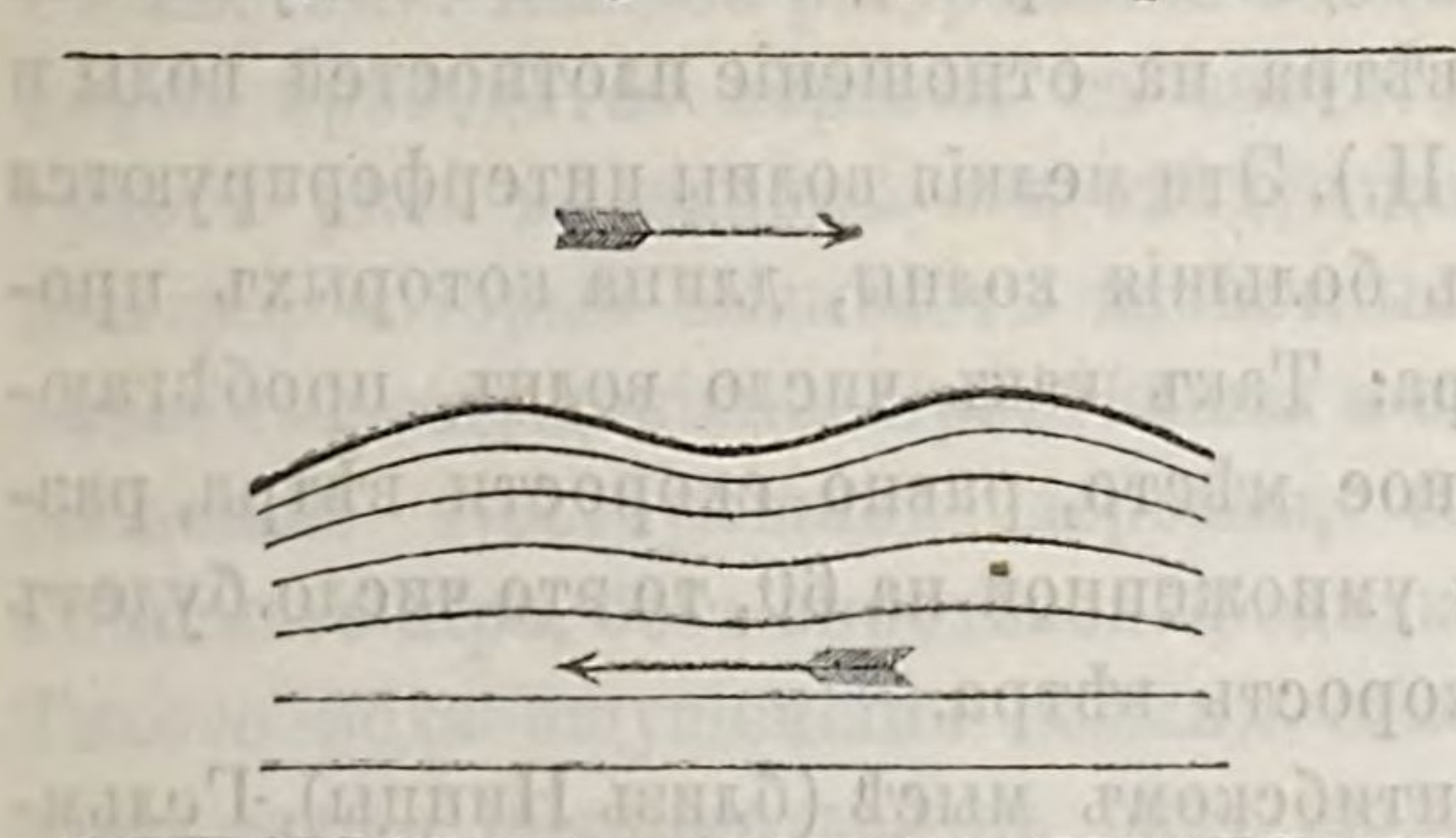


Рис. 24.

бѣгущимъ надъ нею слоемъ воздуха, и предположимъ, что всей рассматриваемой системѣ сообщено поступательное движеніе со скоростью, равною и противоположною скорости распространенія волнъ. Тогда поверхность волнъ представится намъ

неподвижной, а вода и воздухъ будутъ течь въ стороны, указанные на рисункѣ стрѣлками. Проведя двѣ горизонтальныя плоскости, вдоль которыхъ теченіе воздуха и воды совершается почти по горизонтальнымъ прямымъ, будемъ считать количество воздуха, протекшее между верхнею плоскостью и поверхностью волнъ, а также и скорость распространенія волнъ, за данныя величины. Для такого теченія Гельмгольтцъ доказываетъ замѣчательную теорему, которую я сформулирую, пользуясь понятіемъ объ энергіи, разъясненнымъ вамъ въ предыдущей лекціи. Поверхность волнъ и скорость находящихся

около нея частицъ воды и воздуха будутъ измѣняться отъ дѣйствія давленія вѣтра на воду такъ, что разность между потенціальною и кинетическою энергіею всей системы постоянно будетъ уменьшаться.

На основаніи этой теоремы гладкая поверхность моря при сильномъ вѣтрѣ является неустойчивою поверхностью. Малѣйшее ея измѣненіе, произведенное треніемъ вѣтра о воду, подниметъ большія волны. Это поднятіе увеличиваетъ потенціальную энергію системы, такъ какъ центръ тяжести взволнованной воды выше нежели невзволнованной. Но рядомъ съ этимъ, какъ показалъ Гельмгольтцъ, происходитъ сравнительно еще большее увеличеніе кинетической энергіи, вслѣдствіе возрастанія скорости воды при поверхности волнъ; такъ что въ результатѣ разность двухъ энергій уменьшается. Если для данныхъ скоростей вѣтра и волны существуетъ поверхность раздѣла воздуха и воды, при которой упомянутая разность имѣетъ наименьшее значеніе, то форму этой поверхности и приметъ по прошествіи нѣкотораго времени поверхность взволнованнаго моря. Если же такого minimum'а нѣтъ, то волны рассматриваемой длины не могутъ установиться. Гельмгольтцъ показываетъ, что на поверхности моря образуется сначала мелкая рябь, въ которой длины волнъ получаются чрезъ раздѣленіе скорости вѣтра на отношеніе плотностей воды и воздуха (т.-е. на 773 при 0° Ц.). Эти мелкія волны интерферируются и постепенно переходятъ въ большія волны, длина которыхъ пропорціональна скорости вѣтра. Такъ какъ число волнъ, пробѣгающихъ въ секунду чрезъ данное мѣсто, равно скорости вѣтра, раздѣленной на длину волны и умноженной на 60, то это число будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе скорость вѣтра.

Весною 1890 года, на Антибскомъ мысѣ (близъ Ниццы), Гельмгольтцъ производилъ наблюденія для провѣрки своей теоріи. Онъ помѣщался на косѣ, глубоко выдающейся въ море и оканчивающейся утесомъ, и наблюдалъ скорость вѣтра и число набѣгающихъ волнъ. Наблюденія подтвердили довольно хорошо теорію и дали бы, какъ полагаетъ Гельмгольтцъ, еще болѣе точные результаты, если бы имѣлись свѣдѣнія о состояніи вѣтра въ прилегающихъ частяхъ моря. Этою картиною неустанной научной дѣятельности маститаго ученаго я и закончу свою лекцію.

Н. Жуковскій.

М. Гр.

Я позволю себѣ предпослать нѣсколько общихъ замѣчаній моему реферату.

Чувствующие нервы суть тонкія, микроскопическія волокна цилиндрической формы, оканчивающіяся съ одной стороны на воспринимавшей впечатлѣнія поверхности, или же на органѣ чувствъ, другимъ же концомъ соединяющіяся съ нервнымъ центромъ или съ мозгомъ. Каждое раздраженіе концевато аппарата чувствующаго нерва проводится нервомъ съ значительною быстротой (о чемъ будетъ рѣчь въ одномъ изъ слѣдующихъ рефератовъ) до нервнаго центра, который вызываетъ извѣстныя измѣненія въ сознаніи, называемыя ощущеніями. Простѣйшая и обычнѣйшая форма ощущенія, даваемая чувствующими нервами, есть сознаніе существованія внѣшняго міра, безъ опредѣленія, однако, его ближайшихъ свойствъ. Такого рода ощущеніями должны обладать низшіе организмы. Но чѣмъ выше подниматься въ ряду животнаго царства, тѣмъ болѣе и болѣе обособляются нервныя чувствительныя волокна, тѣмъ болѣе дифференцируются и получаютъ такое спеціальное назначеніе, что, напримѣръ, нервъ обонятельный на всякое раздраженіе, каково бы оно ни было, отвѣчаетъ только ощущеніемъ запаха, нервъ зрительный—ощущеніемъ свѣта, и т. д.; причемъ нервы даютъ намъ способность не только сознать существованіе внѣшняго міра, но и опредѣлять его различныя свойства. И точно: зрительный нервъ, механически или химически раздражаемый, даетъ намъ всегда только ощущеніе свѣта; слуховой—ощущеніе звука; вкусовой, раздражаемый электрическимъ токомъ,—ощущеніе

вкуса. Прибѣгая къ обобщеніямъ, мы увидимъ, что органы чувствъ имѣютъ извѣстную послѣдовательность въ своемъ развитіи и суть не что иное, какъ различія въ степени одного и того же первичнаго чувства осязанія, въ значительной степени видоизмѣненнаго и дифференцированнаго. *Осязаніе* предполагаетъ близость, непосредственное соприкосновеніе съ тѣломъ, по преимуществу твердымъ. *Вкусъ* предполагаетъ необходимость непосредственнаго соприкосновенія нервовъ съ жидкимъ (или раствореннымъ) тѣломъ. *Обоняніе* является вслѣдствіе непосредственнаго соприкосновенія съ газообразными тѣлами, причемъ измельченные частицы тѣла, идущія изъ большаго разстоянія, все-таки должны войти въ непосредственное соприкосновеніе съ органомъ обонянія. Для *слуха* сообщеніе органа со звучащимъ тѣломъ совершается чрезъ посредство колебаній воздуха, причемъ получается возможность ощущать на весьма далекихъ разстояніяхъ, не входя въ непосредственное соприкосновеніе съ источникомъ звука. Для *зрѣнія* разстояніе ощущаемаго предмета можетъ быть безгранично, такъ какъ колебанія проводятся черезъ среду въ высокой степени подвижную и наполняющую все мірозданіе.

Соотвѣтственно этому, результаты ощущеній, передаваемыхъ нервами чрезъ посредство органовъ чувствъ, могутъ быть локализованы на языкѣ, а не во вкушаемомъ тѣлѣ, когда это—ощущенія вкуса. Ощущенія обонятельныя хотя и получаютъ въ органѣ обонянія, но уже могутъ быть отчасти обьективированы. Для слуховыхъ ощущеній обьективированіе еще рѣзче: мы слышимъ звукъ колокола и знаемъ, что звучитъ колоколъ, а не наше ухо. Для зрѣнія же обьективированіе совершается съ такою полнотою, что мы рѣшительно перестаемъ сознавать, что всѣ явленія внѣшняго видимаго міра получаютъ въ глазу въ формѣ знаковъ или символовъ, которые мы безсознательно обьективироваемъ и приписываемъ не глазу, а самимъ предметамъ. Два послѣднія чувства, слухъ и зрѣніе, благодаря способности обьективированія, суть тѣ, на которыхъ исключительно строится искусство и въ значительной степени наука. Благодаря тонкому и совершенному устройству слуховаго аппарата, мы не только слышимъ звуки, но и музыку; благодаря глазу мы не только видимъ свѣтъ, но и видимъ предметы во всемъ безчисленномъ ихъ разнообразіи.

Нѣтъ сомнѣнія, что въ ряду органовъ чувствъ ухо и глазъ, и въ особенности послѣдній, представляются въ высшей степени сложными, какъ по своему строенію, такъ и по своимъ отправленіямъ. Самый актъ зрѣнія, при всей его обыденности, есть актъ въ высшей степени сложный, который можно расчленивъ на нѣсколько отдѣльных: такъ—ощущеніе свѣта вообще, ощущеніе квалифицированнаго свѣта или цвѣтовъ, видѣніе формы, опредѣленіе мѣста въ пространствѣ, опредѣленіе тѣлесности предметовъ (трехъ измѣреній), и проч. Сложность процесса зрѣнія даетъ поводъ ко множеству такъ-называемыхъ оптическихъ обмановъ. Но и независимо отъ этихъ оптическихъ ошибокъ, неизбежность коихъ связана съ самымъ устройствомъ зрительнаго аппарата, изслѣдованіе функцій глаза и уха требуетъ большой точности, и потому нигдѣ какъ въ этихъ областяхъ не является обязательнымъ находчивость, остроуміе, изобрѣтательность и осторожность со стороны экспериментатора. Этими свойствами вполне владѣетъ Гельмгольтцъ, и каждая работа его носитъ на себѣ характеръ творчества—не минутнаго, но глубоко продуманнаго, осторожно обставленнаго и вѣско мотивированнаго. Такое творчество въ Гельмгольтцѣ подчасъ сближаетъ его съ поэтомъ, въ произведеніи котораго видна не красота формы только, но и обдуманность содержація, и тщательная отдѣлка и законченность.

На мою долю выпала высокая честь и трудная задача — дать очеркъ того, что было сдѣлано Гельмгольтцомъ по фізіологической оптикѣ. Въ часовой періодъ лекціи трудно, чтобы не сказать невозможно, дать обстоятельный обзоръ сдѣланнаго Гельмгольтцомъ: едва достанетъ времени на простой перечень его работъ. А между тѣмъ всѣ работы Гельмгольца по фізіологической оптикѣ въ равной мѣрѣ интересны, въ равной мѣрѣ послужили и продолжаютъ служить фундаментомъ для дальнѣйшей разработки позднѣйшимъ ученымъ. Всѣ онѣ оставили неизгладимый слѣдъ, благодаря которому исторія никогда не забудетъ имени Гельмгольца, какъ ученаго, которому выпала счастливая доля быть свидѣтелемъ дальнѣйшаго развитія его мыслей, его фактовъ, его обобщеній.

Будучи вынужденъ по возможности экономизировать время, назначенное для лекціи, я постараюсь въ бѣгломъ очеркѣ лишь указать на главнѣйшія работы Гельмгольца по фізіологической оптикѣ, и останавлиюсь болѣе подробно на одной изъ нихъ, сдѣлавшей полный переворотъ въ офтальмологіи. Эта работа всего нагляднѣе иллюстрируетъ значеніе и другихъ его работъ, менѣе видныхъ съ перваго взгляда.

Въ хронологическомъ порядкѣ работы Гельмгольца по фізіологической оптикѣ появлялись слѣдующимъ образомъ.

Въ 1851 г. явилось описаніе глазнаго зеркала для изслѣдованія сѣтчатки на живомъ глазѣ, и въ слѣдующемъ же 1852 г. Гельмгольцъ далъ описаніе новой простѣйшей формы глазнаго зеркала. Объ этихъ двухъ работахъ буду послѣ говорить подробнѣе. Въ 1853 г. Гельмгольцъ писалъ «объ одномъ до сихъ поръ неизвѣстномъ измѣненіи въ человѣческомъ глазѣ при измѣненномъ приспособленіи». Наблюденіе это оказалось въ высшей степени плодотворнымъ, послужившимъ исходной точкой для дальнѣйшихъ работъ по вопросу о приспособленіи.

Извѣстно, что нормальный глазъ способенъ видѣть одинаково ясно и дальніе, и близкіе предметы. Этой способности глазъ не имѣлъ бы, если бы не обладалъ аппаратомъ приспособленія, подобно тому какъ въ зрительной трубкѣ есть механизмъ для установки къ различнымъ разстояніямъ. Когда способность приспособленія, подъ старость, ослабѣваетъ, глазъ перестаетъ ясно видѣть вблизи, и прибѣгаетъ къ очкамъ, которыя замѣняютъ приспособленіе.

Наблюденіе Гельмгольца состояло въ томъ, что во время разсматриванія близкихъ предметовъ, т.-е. въ то время, когда глазъ приспособляется (аккомодируетъ), хрусталикъ, а съ нимъ вмѣстѣ и покоющаяся на его передней поверхности радужная оболочка, подаются впередъ.

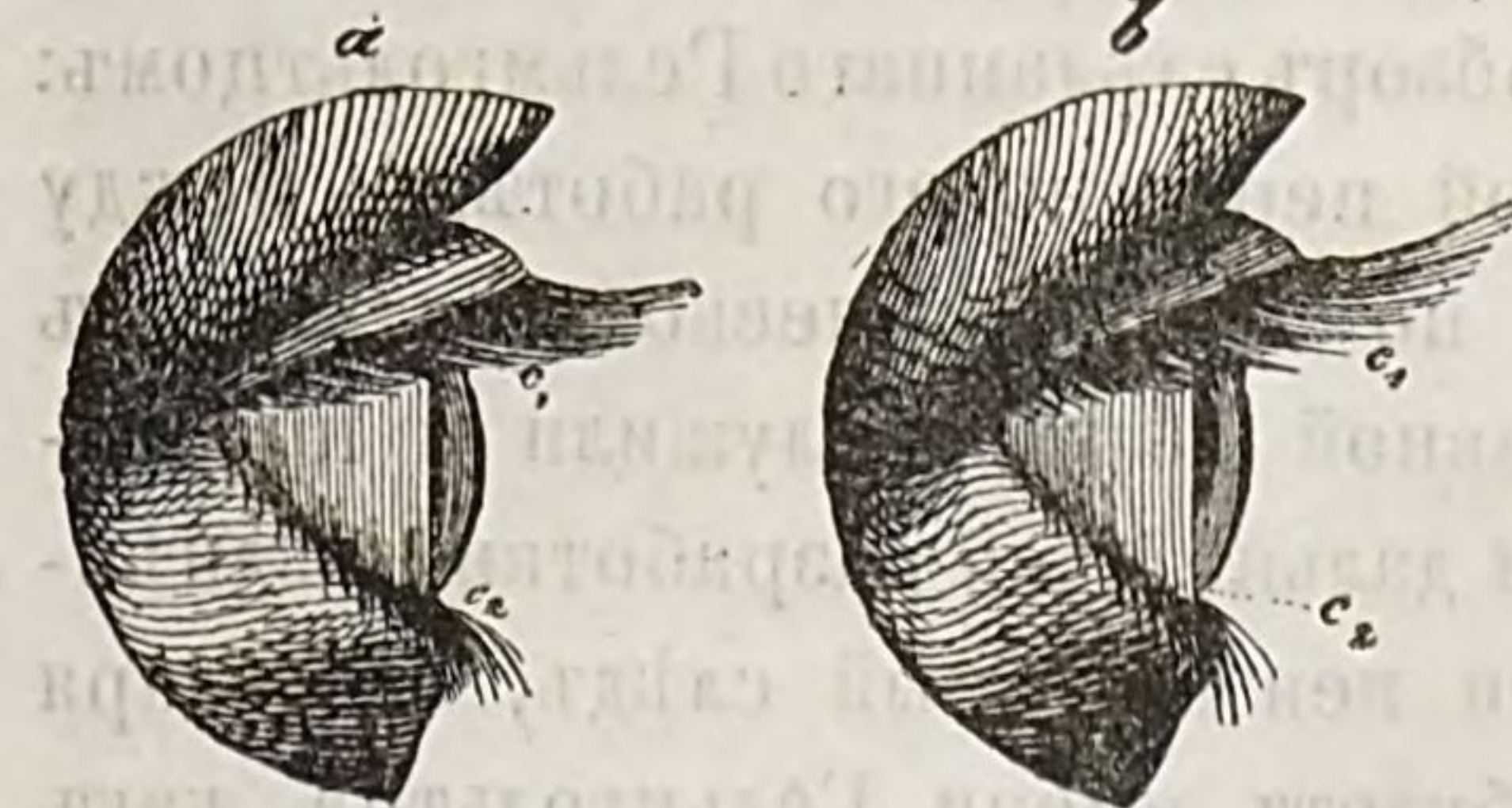


Рис. 25.

Совершается это путемъ увеличенія выпуклости (уменьшенія радіуса кривизны) передней поверхности хрусталика.

Передняя поверхность глаза (рис. 26) имѣетъ прозрачную стѣнку (с)—*роговицу*, поверхность которой, блестящая, довольно близко подходитъ къ поверхности сферической и обладаетъ отражатель-

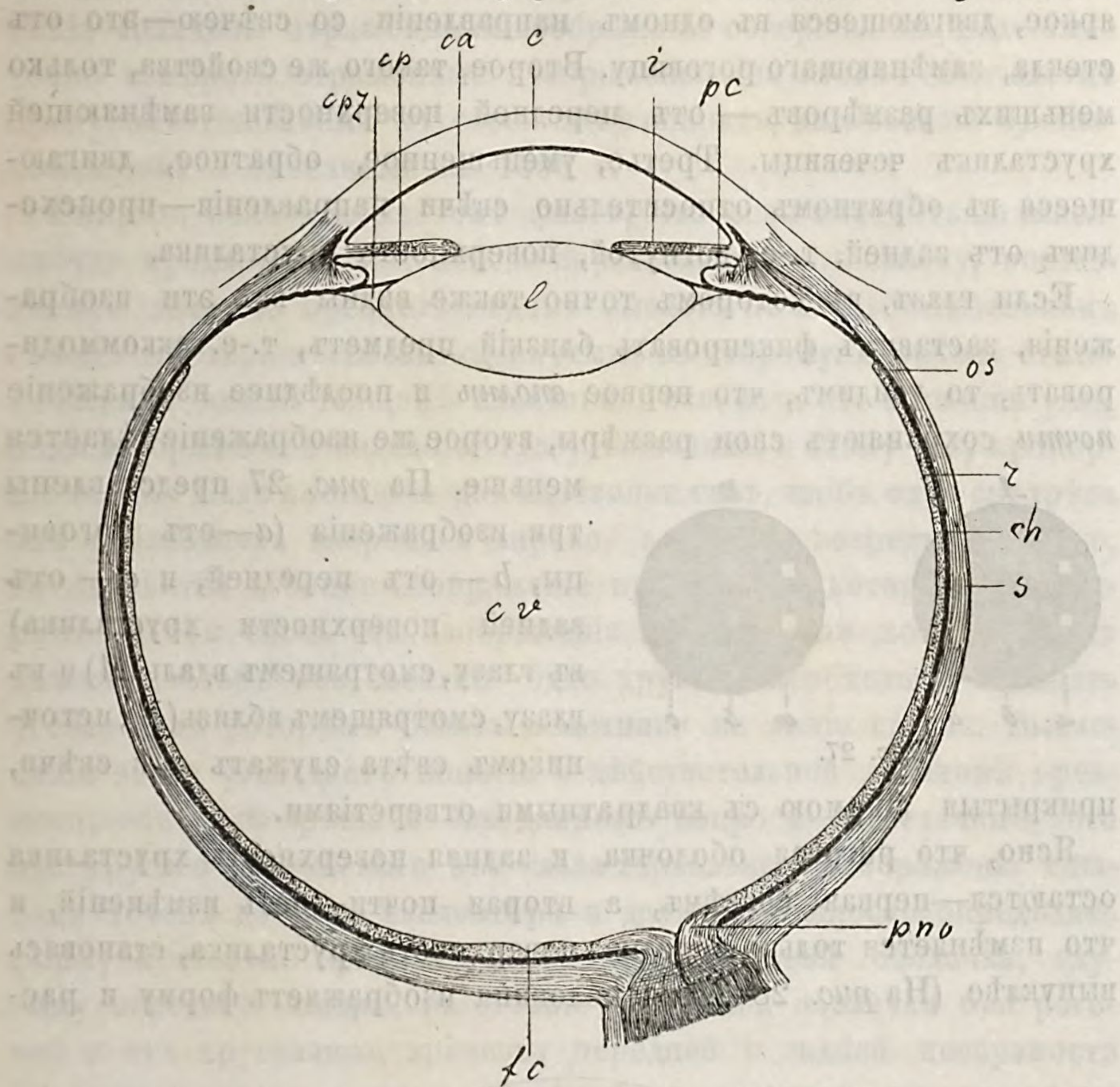


Рис. 26.

ными свойствами выпуклаго зеркала. За роговой оболочкой, позади *водянистой влаги* (са) и впереди *стекловиднаго тѣла* (сv) лежитъ *хрусталикъ* (l), отдѣленный отъ первой свободно подвѣшенной въ водянистой влагѣ *радужною оболочкою* (i), въ центрѣ которой помещается отверстіе—*зрачокъ*. Самый хрусталикъ, имѣющій видъ двояко-выпуклаго стекла, рассматриваемый спереди, имѣетъ двѣ поверхности: переднюю выпуклую, а заднюю вогнутую; эти поверхности, по своимъ отражательнымъ свойствамъ, тоже могутъ быть сравнены—первая съ выпуклымъ, а вторая съ вогнутымъ зеркаломъ.

Взглянемъ на модель роговицы и хрусталика. Если поставить передъ этой моделью свѣчу, то увидимъ, что свѣча даетъ три отраженныхъ изображенія: первое уменьшенное и прямое, очень яркое, двигающееся въ одномъ направленіи со свѣчею—это отъ стекла, замѣняющаго роговицу. Второе, такого же свойства, только меньшихъ размѣровъ — отъ передней поверхности замѣняющей хрусталикъ чечевицы. Третье, уменьшенное, обратное, двигающееся въ обратномъ относительно свѣчи направленіи—происходитъ отъ задней, т.-е. вогнутой, поверхности хрусталика.

Если глазъ, въ которомъ точно также видны всѣ эти изображенія, заставимъ фиксировать близкій предметъ, т.-е. аккомодировать, то увидимъ, что первое *вполнѣ* и послѣднее изображеніе *почти* сохраняютъ свои размѣры, второе же изображеніе дѣлается

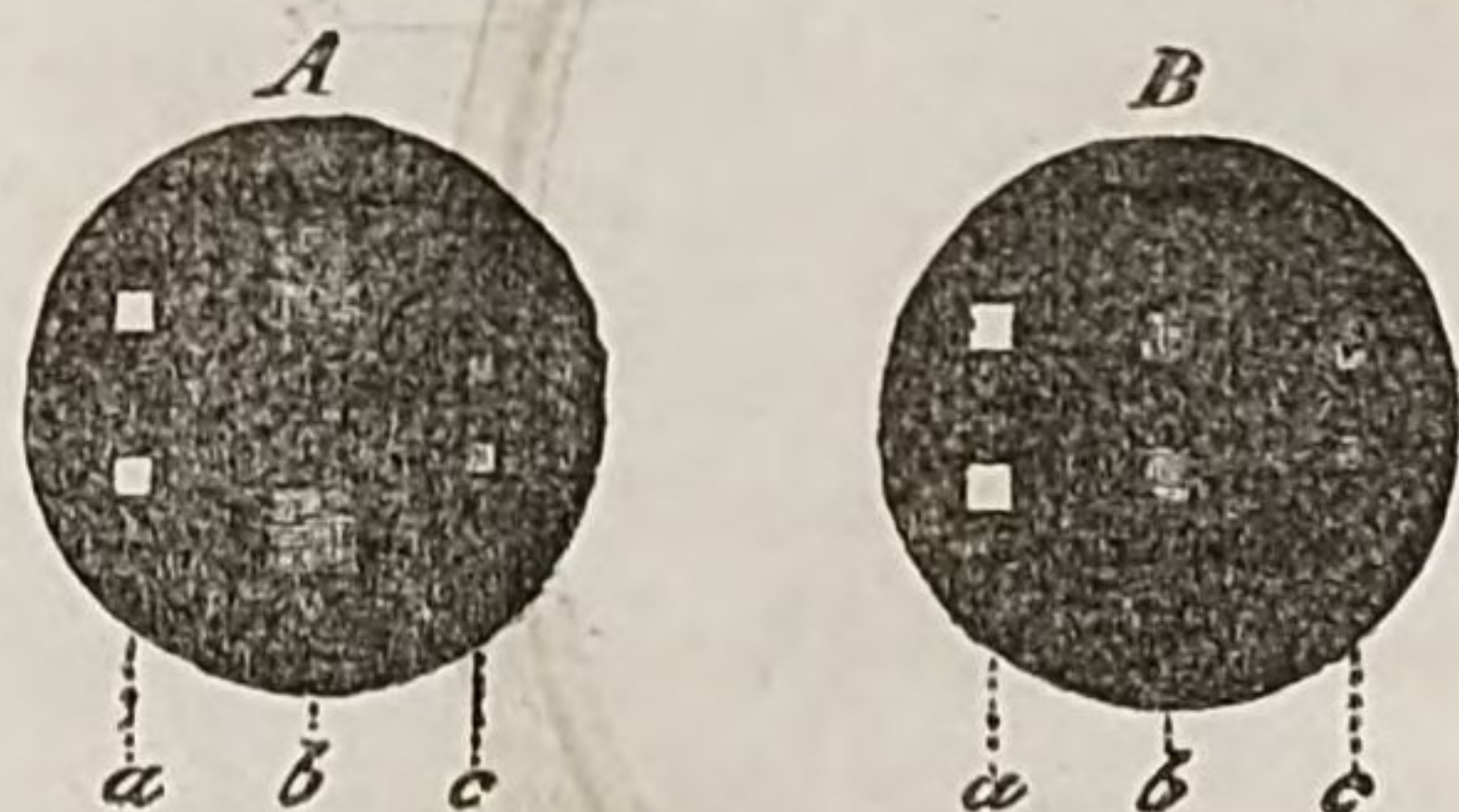


Рис. 27.

меньше. На *рис. 27* представлены три изображенія (*a*—отъ роговицы, *b* — отъ передней, и *c* — отъ задней поверхности хрусталика) въ глазу, смотрящемъ вдаль (*A*) и въ глазу, смотрящемъ вблизи (*B*); источникомъ свѣта служатъ двѣ свѣчи,

прикрытыя ширмою съ квадратными отверстіями.

Ясно, что роговая оболочка и задняя поверхность хрусталика остаются—первая совсѣмъ, а вторая почти—безъ измѣненій, и что измѣняется только передняя поверхность хрусталика, становясь выпуклѣе. (На *рис. 28* лѣвая половина изображаетъ форму и рас-

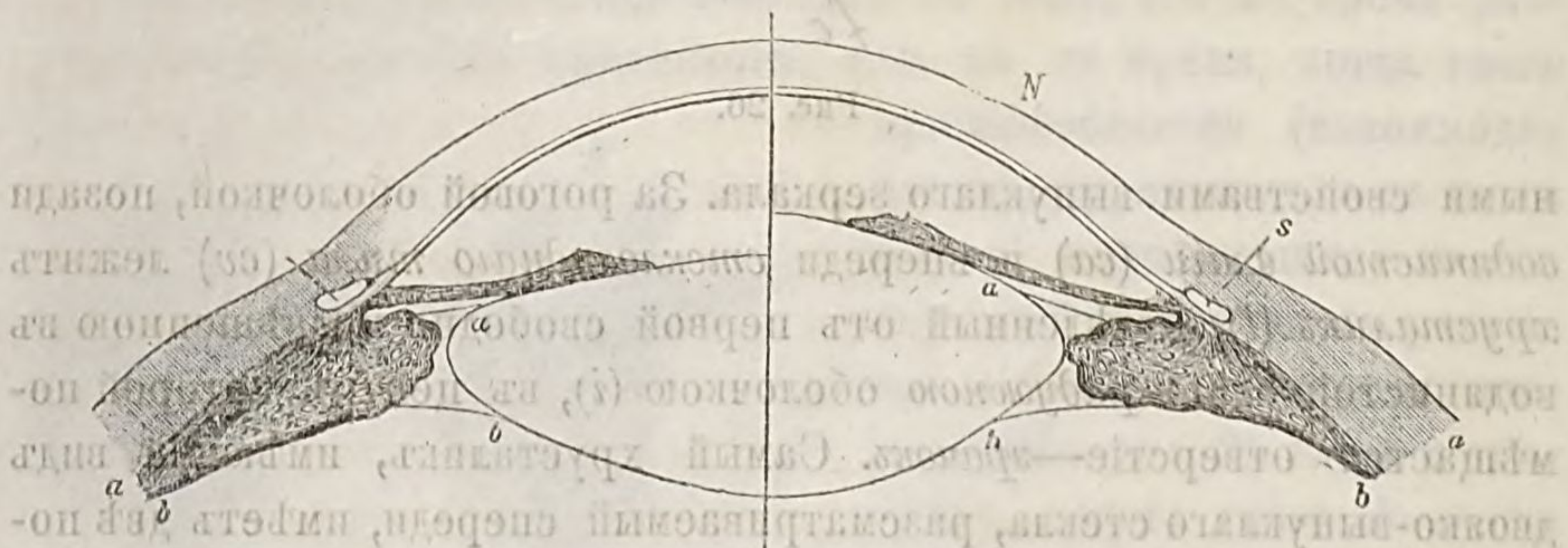


Рис. 28.

положеніе хрусталика, когда глазъ смотритъ вдаль, правая—когда глазъ аккомодированъ для близкаго предмета). Этотъ фактъ, подмѣ-

ченный и описанный Гельмгольтцомъ, далъ точное толкованіе процессу аккомодациі и породилъ цѣлую массу подробныхъ работъ.

Но этого мало. Надо было опредѣлить мѣру, въ которой измѣненія величины отраженныхъ изображеній совершаются, надо было точно измѣрить отраженные изображения. Для этого Гельмгольтцъ придумалъ гениальный по своей идеѣ снарядъ, называемый *офтальмометромъ* и описанный въ 1856 г.

Снарядъ основанъ на томъ фактѣ, что если смотрѣть на какой-нибудь предметъ сквозь плоско-параллельную пластинку, поставленную косо, то предметъ видимъ бываетъ не на дѣйствительномъ своемъ мѣстѣ, а нѣсколько сдвинутымъ въ сторону. Величина отклоненія, при данной толщинѣ пластинки, зависитъ отъ величины угла, подъ которымъ поставлена къ глазу пластинка, и этому углу пропорціональна. Если поставить двѣ пластинки такъ, чтобъ одна смотрѣла отъ наблюдателя впередъ и вправо, а другая впередъ и влѣво, то получится двойное изображеніе предмета, на который мы смотримъ. Чтобы слить эти изображенія въ одно, или же приблизить ихъ такъ, чтобъ они касались одно другаго, необходимо измѣнять уголъ, подъ которымъ стоятъ пластинки на линіи зрѣнія. Вычисленіе этого угла дастъ понятіе о дѣйствительной величинѣ предмета, объ уголѣ зрѣнія и—въ данномъ вопросѣ—о величинѣ того или другаго получаемаго отъ глаза зеркальнаго изображенія. Снарядъ точенъ до $\frac{1}{300}$ миллиметра и далъ возможность опредѣлить форму и степень кривизны поверхности роговой оболочки, глубину передней камеры, разстояніе радужной оболочки отъ роговой и отъ хрусталика, кривизну передней и задней поверхности хрусталика и его толщину. Далѣе было показано, что во время приспособленія роговица не измѣняетъ своей кривизны, что радужная своей серединою выдается впередъ, краями же какъ бы западаетъ назадъ, и что это измѣненіе положеній радужной зависитъ отъ измѣненія формы хрусталика: онъ становится толще въ срединѣ, діаметръ его уменьшается; кривизна передней поверхности сильно, а задней слабо, ничтожно, увеличивается. Далѣе найдено, что въ мертвыхъ глазахъ хрусталикъ толще чѣмъ въ живыхъ, т.-е. его ось у живыхъ короче. Рядомъ съ этимъ Гельмгольтцъ объяснилъ и самый процессъ аккомодациі: хрусталикъ, лежащій въ своей сумкѣ, бываетъ плоске, когда она растянута

посредствомъ Циннова пояска (*срѣ* на *рис.* 26); когда же давленіемъ круговой мышцы сумка ослабляется, хрусталикъ, предоставленный собственной упругости, становится круглѣе. Съ годами эта упругость настолько падаетъ, хрусталикъ настолько твердѣетъ, что приходится недостающее замѣнять стеклами и очками.

Въ 1859 г. появилась работа Гельмгольца о цвѣтовой слѣпотѣ. Въ этой работѣ, въ которой примѣненъ вращающійся дискъ Максвелля, Гельмголецъ подтверждаетъ Юнгову теорію трехъ основныхъ цвѣтовъ: краснаго, зеленаго и фіолетоваго (ее съ тѣхъ поръ называютъ теоріей Юнга-Гельмгольца), и въ Максвеллевскомъ дискѣ находитъ средство точно опредѣлить недостающее цвѣтовое зрѣніе у слѣпыхъ на цвѣта.

Здѣсь не лишнее сказать, что теорія Юнга-Гельмгольца подверглась значительной модификаціи въ работахъ Геринга, который возстановилъ принятыя у Леонардо-да-Винчи основные цвѣта: бѣлый и черный, красный и зеленый, желтый и синій. Эти три пары такъ-называемыхъ противоцвѣтовъ (*Gegenfarben*) даютъ въ смѣшеніи сѣрый, въ перекрестныхъ же сочетаніяхъ—всевозможные цвѣта. Гельмголецъ сильно и вѣско полемизируетъ съ Герингомъ, и повидимому каждый остается при своемъ мнѣніи.

Къ сожалѣнію, я не могу далѣе останавливаться на этомъ отдѣлѣ фізіологической оптики, потому что она представляется всего болѣе затруднительною для краткаго изложенія.

Въ 1860 г. Гельмголецъ сдѣлалъ сообщеніе о контрастныхъ явленіяхъ въ глазу. Сообщеніе это сопровождалось демонстраціей окрашенныхъ тѣней. Явленіе это легко воспроизвести: если мы окрасимъ нашъ экранъ краснымъ цвѣтомъ, то увидимъ, что отброшенная на красноватомъ фонѣ тѣнь будетъ казаться зеленою; на зеленомъ фонѣ она покажется красною. (Опытъ).

Въ 1863 г. Гельмголецъ сообщилъ о своихъ изслѣдованіяхъ по поводу движеній глаза. Вообще изслѣдованія движеній глаза принадлежатъ къ числу весьма тонкихъ, требующихъ большой внимательности. Когда глаза переводятся съ одного предмета на другой, происходитъ не только перемѣщеніе зрительной оси по прямой линіи въ ту или другую сторону, но и вращеніе глаза вокругъ этой линіи, мысленно принимаемой за ось вращенія. Такія вращательныя движенія, совершенно цѣлесообразныя и необходи-

мыя, открываются посредством такъ-называемыхъ послѣдовательныхъ изображеній, т.-е. тѣхъ же контрастныхъ явленій. Если пристально смотрѣть въ теченіе нѣкотораго времени на ярко окрашенную полосу бумаги на сѣромъ фонѣ и затѣмъ перевести глаза съ этой полосы въ сторону, то на сѣромъ фонѣ является «послѣдовательное изображеніе» этой полосы. Положеніе этой послѣдовательной полосы, дополнительнаго цвѣта по отношенію къ первоначальной, укажетъ, сдѣлалъ ли глазъ вращательное движеніе, или же сохранялъ свою первоначальную позицію. Всѣ опыты, которые производились до Гельмгольца Вундтомъ, Мейснеромъ, Листингомъ, Дондерсомъ и др., не имѣли достаточной гарантіи въ точности, потому что не была устранена возможность независимаго отъ глазъ движенія головы. Гельмгольцъ далъ способъ обезпечить неподвижность головы, устроивъ дощечку (рис. 29) съ вырѣзкой (А) для

зубовъ. Размягченная сургучная масса по краю этой вырѣзки стискивается зубами, и въ массѣ остаются углубленія отъ зубовъ. Масса затвердѣваетъ, и тѣ мѣста, въ которыхъ становятся зубы при послѣдующемъ опытѣ, гарантируютъ для головы прежнее положеніе. Къ этой же дощечкѣ присоединяютъ какой-нибудь знакъ (СС) для визированія.

Въ томъ же году (1863) Гельмгольцъ написалъ о нормальныхъ движеніяхъ человѣческаго глаза. Примѣнивъ приведенный выше способъ фиксированія головы и возможность, въ случаѣ уклоненія, снова привести голову въ первоначальное положеніе, Гельмгольцъ вывелъ въ высшей степени любопытные законы движенія глазъ, какъ cadaго отдѣльно, такъ и обоихъ вмѣстѣ, при бинокулярномъ зрѣніи. Этими наблюденіями Гельмгольцъ указалъ, какими именно мышцами двигается глазъ, для того чтобы придти въ данное положеніе. Вмѣстѣ съ тѣмъ Гельмгольцъ въ этой статьѣ открыто и доказательно заявляетъ себя эволюционистомъ и полагаетъ, что развитіе тѣхъ и другихъ мышцъ вызывается требованіями цѣлесообразной ясности зрѣнія. Въ какой степени важны изслѣдованія

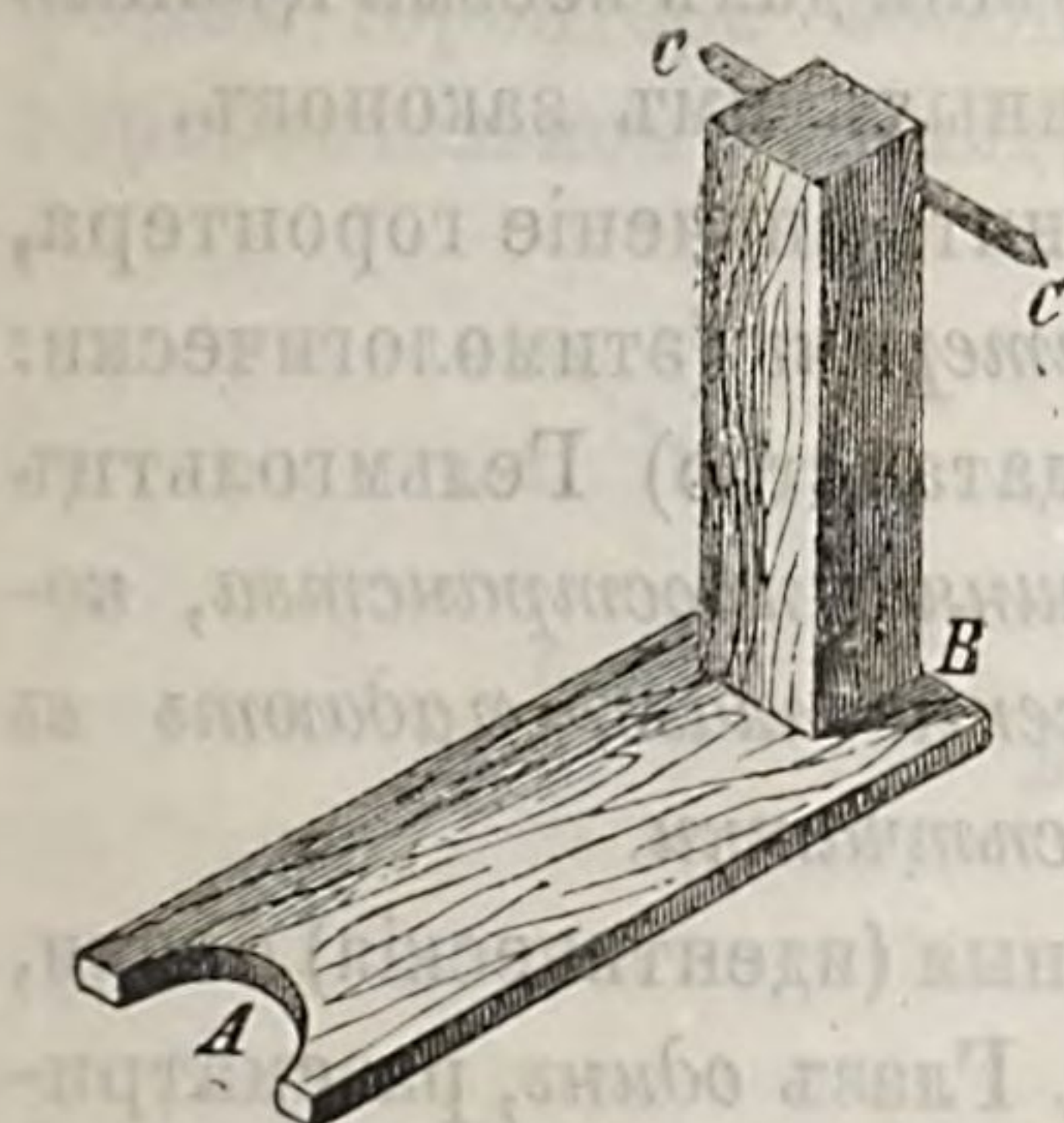


Рис. 29.

Гельмгольца по вопросу о нормальномъ движеніи глазъ, можно заключить по тому, что при діагнозѣ паралича отдѣльныхъ мышцъ глаза мы руководимся главнѣйшимъ образомъ, если не исключительно, Гельмгольцовскими данными. Какъ ни интересно было бы изложить эти работы, я долженъ, по необходимости, лишь упомянуть о нихъ.

Въ 1862 г. Гельмгольцъ написалъ «о формѣ гороптера, математически опредѣленной»; въ 1864 г. еще статью «о гороптерѣ», и въ томъ же 1864 г. «замѣчанія о формѣ гороптера». Последнія, впрочемъ, имѣютъ лишь полемическое (противъ Геринга) значеніе.

Работы Гельмгольца по гороптеру представляются чисто физиологическими и, повидимому, должны бы были представлять лишь лабораторное значеніе. Тѣмъ не менѣе, и здѣсь Гельмгольцъ не остановился на отвлеченномъ интересѣ, но въ прекрасномъ отдѣлѣ своей работы о значеніи гороптера въ зрѣніи далъ весьма цѣнныя указанія въ смыслѣ примѣненія выработанныхъ имъ законовъ.

Не знаю, насколько удастся мнѣ объяснить значеніе гороптера, чтобы сдѣлать его общедоступнымъ. *Гороптеромъ* (этимологически: предѣлы зрѣнія, зрительнаго акта,—соглядатайство) Гельмгольцъ называетъ совокупность тѣхъ точекъ внѣшняго пространства, которыхъ изображенія, при данномъ положеніи глазъ, падаютъ въ обоихъ глазахъ на тождественныя точки сѣтчатки.

Чтобы объяснить, что такое тождественныя (идентическія) точки, я долженъ сдѣлать маленькое отступленіе. Глазъ одинъ, рассматривающій какой-нибудь предметъ, получаетъ на своей сѣтчаткѣ одно отчетливое изображеніе этого предмета, слѣдовательно ясно видитъ этотъ предметъ, имѣя отъ него только одно изображеніе. Но органъ зрѣнія есть органъ парный: въ двухъ глазахъ получается отъ одной и той же точки два изображенія, по одному въ каждомъ глазѣ. Тѣмъ не менѣе мы видимъ предметъ не двойной, а единый. Слѣдовательно одно изображеніе какъ бы покрывается другимъ, и два раздѣльныя изображенія сливаются въ одно. Тѣ мѣста сѣтчатки, на которыхъ изображенія даютъ въ проекціи впечатлѣніе одного предмета, и будутъ мѣстами тождественными.

Тождественными, соотвѣтственными, идентичными точками сѣтчатки, дающими сліяніе изображеній, служатъ точки, имѣющія видимое одинаковое положеніе. Если мы поставимъ два глобуса съ

первыми меридіанами, то соотвѣтствующими точками будутъ тѣ, которыя имѣютъ одинаковую долготу и широту. Или же можно сказать, что тождественными точками сѣтчатокъ обоихъ глазъ будутъ тѣ, которыя, при наложеніи одной сѣтчатки на другую, будутъ совершенно другъ друга закрывать.

Каждая точка, на которую мы направляемъ оба глаза, кажется намъ одиночною. Но кромѣ ея, при томъ же положеніи глазъ, есть и другія мѣста, гдѣ точки не кажутся двойными, хотя онѣ и не лежатъ на пересѣченіи линій зрѣнія. Совокупность такихъ точекъ и линій, которыя, при неподвижномъ положеніи не на эти точки смотрящихъ глазъ, не кажутся двойными, и есть гороптеръ.

О томъ, есть ли гороптеръ плоскость или линія, и какая его форма, было говорено очень много. Гельмгольтцъ на основаніи математическихъ вычисленій и цѣлаго ряда опытовъ вывелъ, что форма гороптера вообще очень сложная. Въ одномъ случаѣ, при горизонтальномъ взглядѣ вдаль по средней линіи oA (рис. 30), она

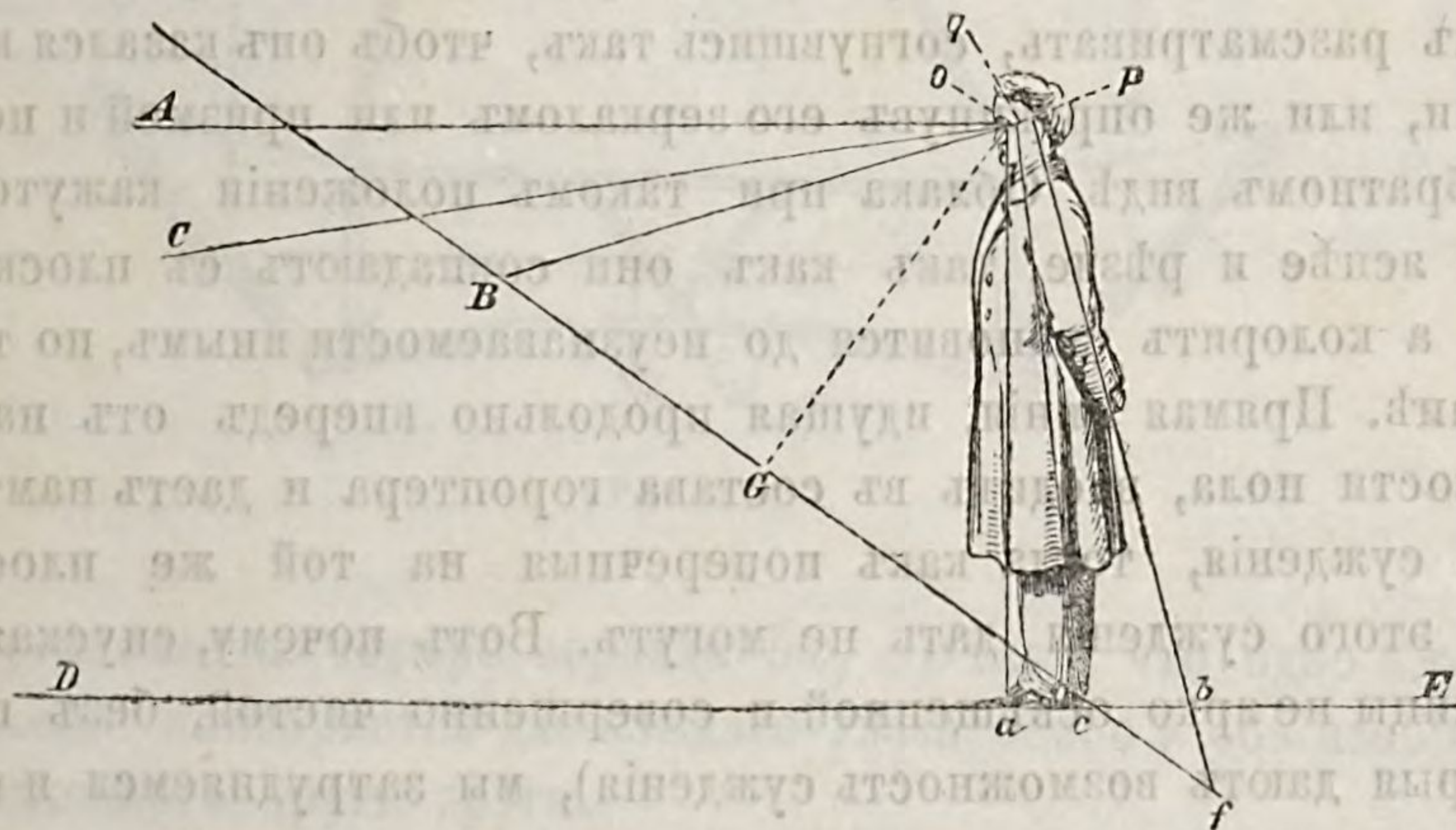


Рис. 30.

проста и совпадаетъ съ плоскостью пола DE , на которомъ находится наблюдатель. Какъ скоро глаза опускаются по средней плоскости внизъ, гороптеръ усложняется, сохраняя однако въ своемъ составѣ прямую линію DE , лежащую въ плоскости пола.

Цѣлымъ рядомъ весьма простыхъ и въ высшей степени остроумныхъ опытовъ Гельмгольтцъ подтверждаетъ свои положенія и указываетъ на значеніе гороптера въ зрѣніи. Такъ, напримѣръ,

очень важно значеніе гороптера при простомъ хожденіи, въ виду того что полъ, земля, поверхность, по которымъ мы ходимъ, составляютъ именно главную плоскость нашего гороптера. Поэтому мы хорошо видимъ даже и *непрямымъ* зрѣніемъ (т.-е. не фиксируя данной точки) всѣ неровности поверхности, по которой идемъ. Это обстоятельство очень важно для того, чтобы во время передвиженія имѣть глаза въ своемъ распоряженіи, кромѣ тѣхъ случаевъ, конечно, гдѣ, идя по неровной, изрытой поверхности, по грудамъ камней, мы поневолѣ слѣдимъ за каждымъ своимъ шагомъ. Благодаря тому же гороптеру, впереди насъ лежащая горизонтальная плоскость представляется открытою на огромное протяженіе. Каждый можетъ провѣрить значеніе глазъ, даже и не пристально устремленныхъ на дорогу, въ процессѣ хожденія: стоитъ только нести передъ собой зонтикъ, распушенный и опрокинутый, такъ чтобы заслонить имъ дорогу,—способность распознаванія неровностей почвы и увѣренность въ ходѣбѣ тотчасъ теряются.

Любопытенъ фактъ извращенія красокъ ландшафта, который будемъ разсматривать, согнувшись такъ, чтобъ онъ казался кверху ногами, или же опрокинувъ его зеркаломъ или призмой и поставя въ обратномъ видѣ. Облака при такомъ положеніи кажутся гораздо яснѣе и рѣзче, такъ какъ они совпадаютъ съ плоскостью пола, а колоритъ становится до неузнаваемости инымъ, по той же причинѣ. Прямая линія, идущая продольно впереди отъ насъ по плоскости пола, входитъ въ состава гороптера и даетъ намъ вѣрность сужденія, тогда какъ поперечныя на той же плоскости линіи этого сужденія дать не могутъ. Вотъ почему, спускаясь съ лѣстницы не ярко освѣщенной и совершенно чистой, безъ пятенъ (которыя даютъ возможность сужденія), мы затрудняемся и ищемъ ногою ступеньку; тогда какъ полосатый коверъ, разостланный на той же лѣстницѣ и представляющій рядъ прямыхъ продольныхъ перспективныхъ линій, даетъ намъ совершенно достаточную ориентировку, чтобъ идти по лѣстницѣ безъ затрудненій.

Въ 1864 г. Гельмгольтцъ изслѣдовалъ вліяніе вращательныхъ движеній глазъ на проложеніе ретинальных изображеній и указалъ между прочимъ на любопытный фактъ, что прямая горизонтальная линія, разсматриваемая при сильно сходящихся осяхъ зрѣнія, ка-

жется при взглядѣ вверхъ или внизъ кривою. Опытъ всего лучше удается для разстояній очень близкихъ.

Въ томъ же 1864 г. Гельмгольтцъ сдѣлалъ сообщеніе о *телестереоскопѣ*. Этотъ остроумный аппаратъ даетъ возможность видѣть весьма отдаленный ландшафтъ въ видѣ не только картины, но и рельефа. Извѣстно, что, благодаря линейной и воздушной перспективѣ, далекія горы кажутся намъ какъ бы амфитеатромъ, въ которомъ однако трудно распознаются тѣлесныя подробности: ущелья, выступы сглаживаются и т. д. Въ стереоскопическихъ фотографіяхъ предметы фотографируются при двухъ положеніяхъ, причемъ принимается въ расчетъ разстояніе одного глаза отъ другаго. Такое разстояніе для близкихъ предметовъ имѣетъ большое значеніе; но для далекихъ предметовъ оно совершенно пропадаетъ за его незначительностью. Въ телестереоскопѣ разстояніе двухъ пунктовъ зрѣнія увеличено. Снарядъ (рис. 31) состоитъ изъ ящика, въ кото-

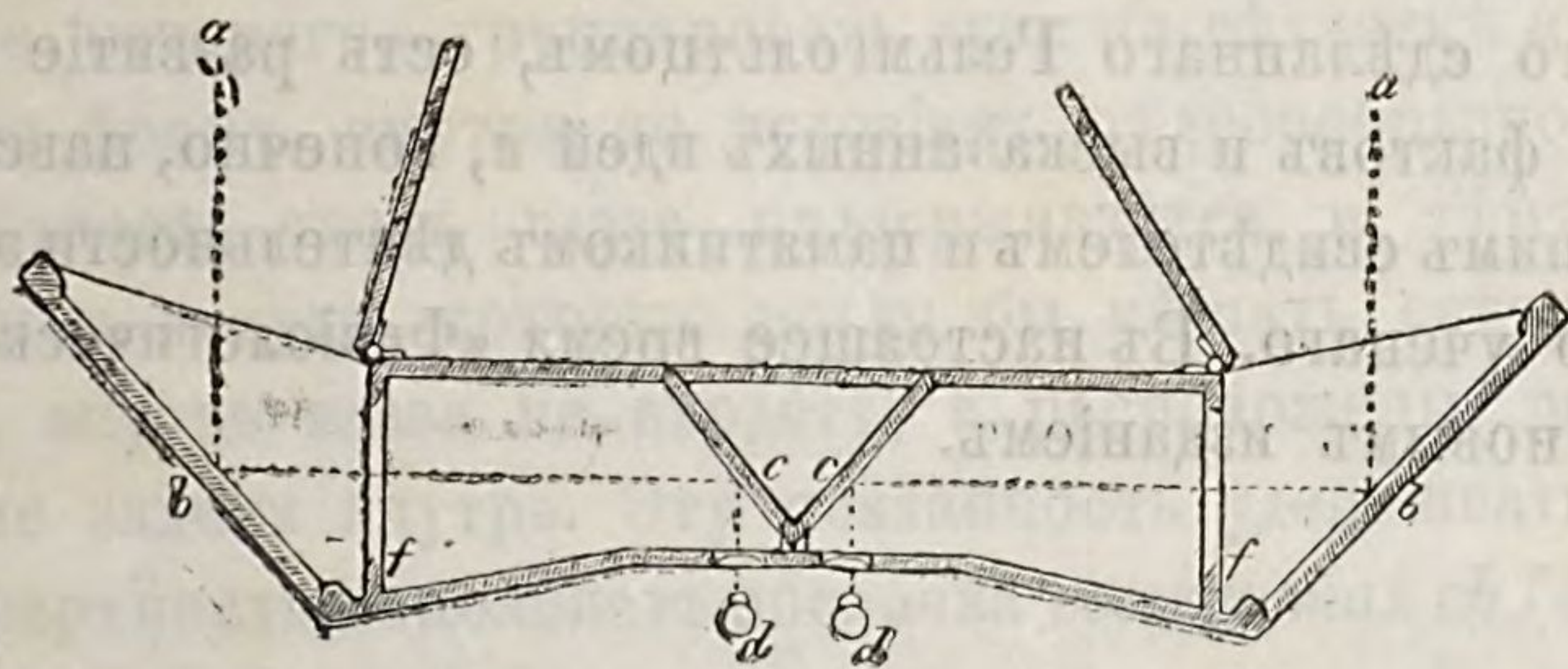


Рис. 31.

ромъ установлены четыре зеркала *b b*, *c c* такъ, что одно и то же изображеніе повторяется для каждаго глаза особо и оба изображенія покрываютъ другъ друга.

Въ 1865 г. Гельмгольтцъ обнародовалъ свои наблюденія надъ стереоскопическимъ зрѣніемъ, также очень любопытныя; въ этой своей статьѣ Гельмгольтцъ опять полемизируетъ съ Герингомъ.

Въ 1875 г. Гельмгольтцъ написалъ о значеніи конвергентной установки глазъ при оцѣнкѣ разстоянія бинокулярно видимыхъ предметовъ. Было всегда принимаемо, что мы даемъ оцѣнку разстоянія предмета по величинѣ угла схождения направленныхъ на этотъ предметъ осей зрѣнія. А между тѣмъ опыты со стереоскопомъ

доказываютъ, что оцѣнка эта совершается не однимъ только мышечнымъ чувствомъ, но находится въ зависимости отъ многихъ разнообразныхъ и весьма сложныхъ условій. Такъ между, прочимъ, стереоскопическій ящикъ своими размѣрами даетъ поводъ къ оптическимъ ошибкамъ, чему доказательствомъ можетъ служить опытъ разсматриванія картинокъ, вынутыхъ изъ стереоскопическаго ящика, посредствомъ вынутыхъ изъ ящика стереоскопическихъ стеколъ. Отсутствие рамки и футляра даетъ результаты изумительные по своему несходству. Гельмгольтцъ полагаетъ, что степень конвергенціи (схожденія) осей зрѣнія есть самый невѣрный критерій для оцѣнки разстояній; гораздо вѣрнѣе чувство иннерваціи, размѣръ того приказа воли, который посылается для того, чтобы та или другая степень конвергенціи была приведена въ дѣйствіе.

Всѣ перечисленные работы Гельмгольца вошли въ его трактатъ «Физиологической оптики», печатавшійся съ 1856 по 1867 годъ въ Карстеновой «Общей энциклопедіи физики». Этотъ трактатъ есть сводъ всего сдѣланнаго Гельмгольтцомъ, есть развитіе подмѣченныхъ имъ фактовъ и высказанныхъ идей и, конечно, навсегда останется лучшимъ свидѣтелемъ и памятникомъ дѣятельности этого замѣчательнаго ученаго. Въ настоящее время «Физиологическая оптика» выходитъ новымъ изданіемъ.

Я прошу позволенія теперь перейти къ Гельмгольтцову открытію офталмоскопа. Я уже сказалъ, что открытіе это сдѣлало въ офтальмологіи рѣшительный переворотъ: можно было бы безъ особенной погрѣшности принять, что офтальмологія, какъ точная наука, начала существовать лишь съ 1851 года.

Я позволю себѣ предпослать нѣсколько словъ объ анатоміи глаза, о трудности видѣть что-либо внутри глаза и о причинахъ этой трудности. Взглянемъ опять на *рис. 26*.

Глазъ представляетъ собою пузырь съ плохо растяжимыми стѣнками. Передняя половина этого пузыря назначена пропускать свѣтъ, и потому она закрыта совершенно прозрачной, какъ стекло, оболочкой, называемой роговою. Задняя часть глаза воспринимаетъ впечатлѣнія проникшихъ черезъ роговую оболочку въ глазъ свѣтовыхъ лучей и имѣетъ тамъ зрительный нервъ, который, войдя

въ глазъ при *рно*, тотчасъ же превращается изъ круглаго шнурка въ тоненькую оболочку *г*, выстилающую глазъ по всей его внутренней шарообразной поверхности, — *сѣтчатку* или *ретину*. Сѣтчатка воспринимаетъ впечатлѣнія свѣта, нервъ проводитъ эти впечатлѣнія въ мозгъ, и тамъ эти впечатлѣнія перерабатываются въ сознательное представленіе предметовъ, пролагаются въ пространствѣ. Для того чтобы лучи свѣта, падающіе отъ разсматриваемыхъ предметовъ, безпрепятственно проходили до воспринимающей ихъ сѣтчатки, необходимо, чтобы среда, сквозь которую проникаютъ лучи и доходятъ до сѣтчатки, была прозрачна. Мало того, — необходимо, чтобы лучи не проходили въ глазъ беспорядочно или кое-какъ, но чтобы они правильно группировались на сѣтчаткѣ. Въ удовлетвореніе перваго требованія, глазъ наполненъ водянистой (совершенно прозрачной) влагой впереди и стекловиднымъ (тоже совершенно прозрачнымъ) тѣломъ сзади. Между этими обоими веществами помѣщается тоже совершенно прозрачный хрусталикъ, назначеніе котораго — группировать лучи на сѣтчаткѣ и даже измѣнять свою форму, смотря по условіямъ цѣлесообразности зрѣнія.

Прозрачность средъ глаза поддерживается и тѣмъ, что всѣ кровеносные сосуды, которые могли бы мѣшать свѣту проходить въ глазъ, внутрь глаза не входятъ, а расположены по стѣнкамъ органа, не заходя внутрь. Эту обязанность удерживать сосуды въ одной поверхности исполняетъ оболочка *сосудистая ш* (а въ небольшой мѣрѣ и сѣтчатка). Она лежитъ тотчасъ подъ сѣтчаткой, стало быть не заслоняетъ ее отъ свѣта, и имѣетъ два отверстія: чрезъ одно проходитъ зрительный нервъ, чрезъ другое проходитъ свѣтъ. То отверстіе, чрезъ которое свѣтъ проникаетъ, есть зрачокъ, помѣщающійся почти противъ центра роговицы и имѣющій способность то расширяться, то суживаться, сообразно количеству проникающаго въ глазъ свѣта и для устраненія сферической аберраціи. Сосудистая оболочка тою стороною, которою она соприкасается съ сѣтчаткой и которою, слѣдовательно, обращена внутрь, покрыта обыкновенно густымъ чернымъ пигментомъ, на подобіе того, какъ бывають выкрашены внутри оптическіе снаряды.

Такимъ образомъ, изъ этого бѣглаго очерка можно видѣть, что глазъ представляетъ собою темное помѣщеніе съ однимъ очень небольшимъ окномъ, которое, при сильномъ освѣщеніи, стремится

сѣзвиться и очень экономно пропускаетъ свѣтъ. Тѣмъ не менѣе свѣтъ проникаетъ внутрь глаза и образуетъ на сѣтчаткѣ свѣтлое, отчетливое, уменьшенное и перевернутое изображеніе. Отчего же не видно ничего, что именно есть въ глазу? Отчего, какъ бы вы ни всматривались въ глазъ, вы не видите въ зрачкѣ ничего, кромѣ чернаго, глубоко-чернаго цвѣта? Правда, бываютъ свѣтящіеся зрачки, какъ, на примѣръ, у кошекъ, собакъ, совъ и др. животныхъ; но тамъ происходитъ это оттого, что внутренняя поверхность сосудистой оболочки не выкрашена, какъ у насъ, чернымъ пигментомъ, а, напротивъ, выложена блестящимъ, въ родѣ фольги, листкомъ, сильно отражающимъ свѣтъ. Правда и то, что бываютъ красные зрачки у бѣлыхъ кроликовъ, бѣлыхъ мышей, альбиносовъ и пр.; но это потому, что въ такихъ глазахъ вовсе нѣтъ пигмента и такіе глаза, имѣющіе кромѣ того тонкія, проницаемыя для свѣта стѣнки, освѣщаются не столько чрезъ зрачокъ, сколько сквозъ стѣнки. Такъ въ парусинной палаткѣ и при закрытомъ окнѣ свѣтло, между тѣмъ какъ въ ящикѣ съ плотными стѣнками ничего не видно внутри сквозъ прорѣзанное въ немъ небольшое окно. Фотографическій ящикъ собираетъ на своей чувствительной пластинкѣ всѣ изображенія; тѣмъ не менѣе его объективное стекло кажется совершенно чернымъ, когда смотримъ снаружи.

Зрачокъ черенъ частью потому, что внутренность глаза покрыта темнымъ пигментомъ, частью же потому, что глазъ, всматривающійся, на примѣръ, въ вашъ зрачокъ, на своей сѣтчаткѣ получаетъ изображеніе вашего зрачка. Это изображеніе возвращаетъ изъ глаза вошедшіе лучи свѣта по тому же направленію, по которому они вошли, — и, слѣдовательно, къ вашему же зрачку. Такимъ образомъ чернота зрачка изслѣдуемаго есть только воспроизведеніе черноты зрачка изслѣдующаго.

Возвращеніе лучей свѣта по тому же направленію, по какому они вошли, объясняется по закону, выведенному Гельмгольтцомъ: «Если два противоположно другъ другу направленные луча, проходящіе черезъ какое угодно число преломляющихъ средъ, хотя въ одной изъ этихъ средъ совпадаютъ, то они совпадаютъ и во всѣхъ остальныхъ».

Если это такъ, то почему же, на примѣръ, свѣча, на которую

смотреть глазъ, не вызываетъ свѣченія зрачка? Потому что лучи, вышедшіе отъ свѣчи и собравшіеся на сѣтчаткѣ, возвращаются опять къ свѣчѣ и кромѣ того, потому что мы не можемъ установить нашъ глазъ на пути лучей возвращающихся, безъ того чтобы головой не преградить доступа лучамъ, входящимъ въ глазъ.

Второй законъ Гельмгольца говоритъ, что «для того, чтобъ увидѣть свѣченіе зрачка наблюдаемаго глаза, необходимо, чтобы на сѣтчаткѣ этого глаза изображеніе свѣтящаго предмета вполнѣ или частію покрывалось изображеніемъ зрачка глаза наблюдающаго». Другими словами: источникъ свѣта и оба зрачка должны быть почти на одной прямой. Чтобъ удовлетворить этому послѣд-
нему требованію, Гельмгольцъ предлагаетъ два способа. Одинъ изъ нихъ состоитъ въ томъ, что глазъ *B* наблюдателя (рис. 32)

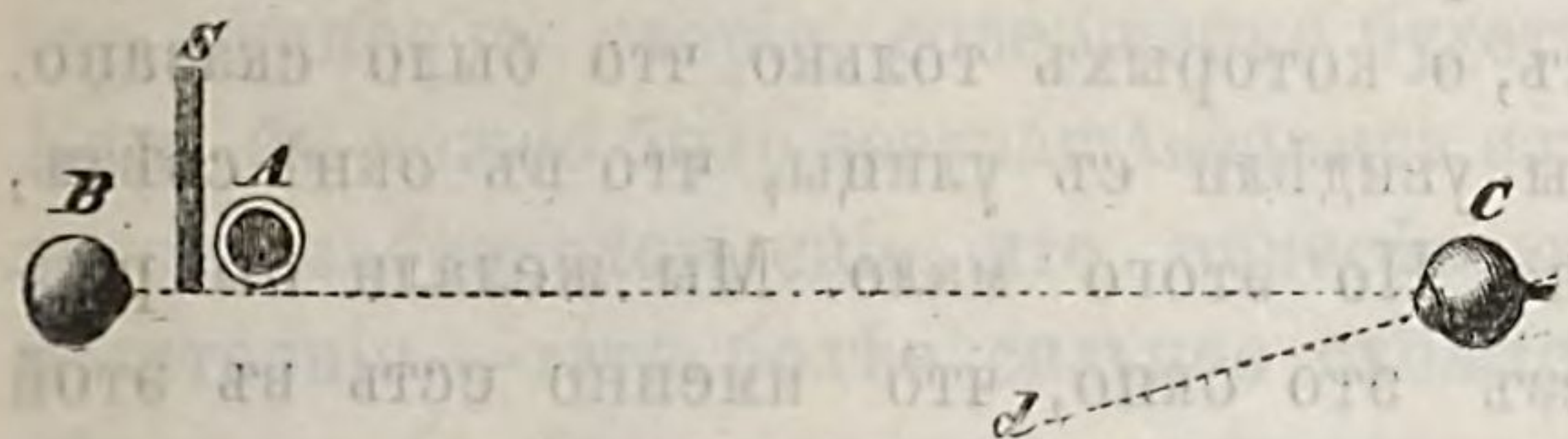


Рис. 32.

становится тотчасъ позади лампы *A*, освѣщающей наблюдаемый глазъ *C*, такъ чтобы видѣть зрачокъ изъ-за края пламени. Чтобы не ослѣплять глазъ сильнымъ свѣтомъ, пламя лампы отдѣляется отъ наблюдателя шириной *S*, мимо края которой и смотрятъ. Зрачокъ тогда,—особенно если наблюдаемый глазъ смотритъ нѣсколько въ сторону и ближе или дальше лампы,—начинаетъ свѣтить свѣтомъ, напоминающимъ до-красна накаленный металлъ.

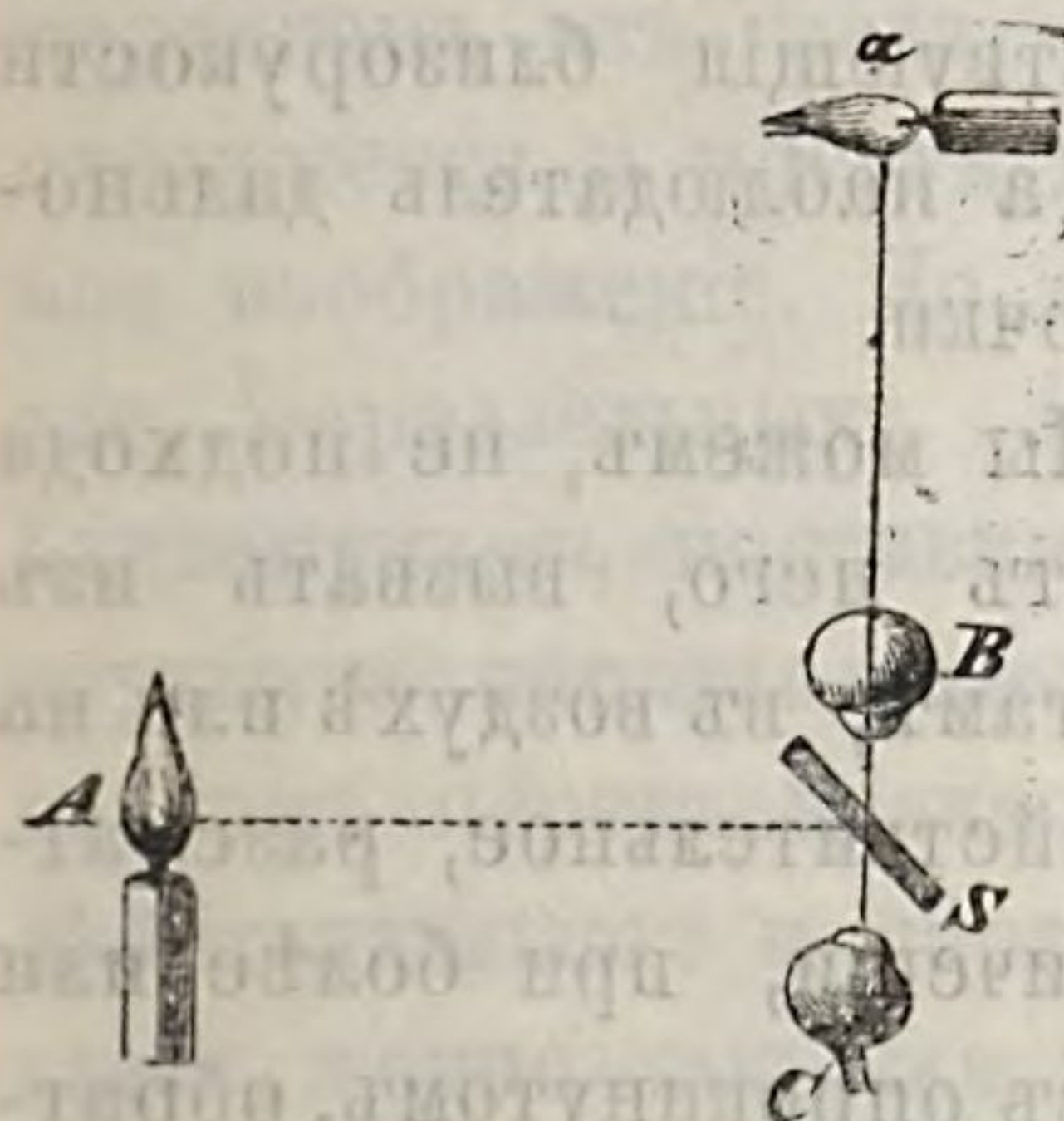


Рис. 33.

Другой способъ: на наблюдаемый глазъ *C* (рис. 33) отбрасывается отраженное изображеніе пламени посредствомъ простаго плоскаго, съ параллельными сторонами, стекла *S*. Лучи, идущіе отъ свѣчи на стекло, отъ стекла отражаются и входятъ въ глазъ *C* такъ, какъ будто бы они исходили изъ α (отраженнаго изображенія свѣчи). Изъ глаза лучи возвращаются по прежнему пути, падаютъ на стекло, и отъ него частію, отражаясь, возвращаются къ свѣчѣ. Но другая часть этихъ лучей проходитъ сквозь стеклянную пластинку и,

встрѣчая тамъ глазъ наблюдателя *B*, проникаетъ въ него. Такимъ образомъ глазъ наблюдателя, не заслоня источника свѣта, становится на пути части тѣхъ лучей, которые идутъ отъ лампы въ наблюдаемый глазъ.

Яркость освѣщеннаго зрачка, по Гельмгольтцу, находится въ зависимости какъ отъ количества употребленнаго свѣта, такъ и отъ положенія отбрасывающей свѣтъ пластинки. Онъ говоритъ, что количество свѣта, падающаго отъ опредѣленной части поверхности сѣтчатки наблюдаемаго глаза въ глазъ наблюдателя, равняется количеству свѣта, освѣтившему данную часть дна глаза, помноженному на то количество свѣта (принимаемое за единицу), которое отбросилъ бы зрачокъ наблюдателя на данную часть дна глаза наблюдаемаго.

Итакъ мы видимъ, что зрачокъ освѣтить можно, прибѣгнувъ къ тѣмъ приспособленіямъ, о которыхъ только что было сказано.

Пояснимъ примѣръ. Мы увидѣли съ улицы, что въ окнѣ свѣтъ, значитъ комната освѣщена. Но этого мало. Мы желали бы разсмотрѣть подробнѣе чрезъ это окно, что именно есть въ этой комнатѣ, желали бы ее осмотрѣть всю, не входя въ нее, а пользуясь окномъ и тѣмъ освѣщеніемъ, которое есть въ комнатѣ.

Положимъ, мы хотимъ разсмотрѣть чрезъ окно, какія картины висятъ на находящейся въ глубинѣ комнаты стѣнѣ, противоположной окну. Для этого есть два способа. Одинъ—просто подойти къ окну и смотрѣть, такъ-сказать, непосредственно, въ прямомъ видѣ. При этомъ, если стѣна слишкомъ далеко отстоитъ, а наблюдатель близорукъ, онъ надѣваетъ соотвѣтствующія близорукости стекла; или, если стѣна слишкомъ близка, а наблюдатель дальнорукъ, онъ можетъ надѣть другаго рода очки.

Другой способъ нѣсколько сложнѣе. Мы можемъ, не подходя къ окну, а напротивъ, держась далеко отъ него, вызвать изъ комнаты изображеніе стѣны на улицу, и тамъ, въ воздухѣ или на экранѣ, это изображеніе, какъ реальное, дѣйствительное, разсматривать при большемъ или меньшемъ увеличеніи, при болѣе или менѣе яркомъ освѣщеніи, но только уже въ опрокинутомъ, обратномъ видѣ.

Представимъ себѣ глазъ, въ которомъ отношеніе частей его составляющихъ таково, что только идущіе отъ очень далекихъ

предметовъ лучи свѣта, значить лучи почти параллельные, собираются на сѣтчаткѣ въ ясное и отчетливое изображеніе. Возвращаясь изъ глаза, лучи идутъ по своему первоначальному направленію, и слѣдовательно возвращаются къ тому предмету, изъ коего вышли. Слѣдовательно, ясное и отчетливое изображеніе на сѣтчаткѣ, о которомъ мы только что говорили, будетъ играть роль свѣтящаго тѣла, а изображеніе этого свѣтящаго тѣла будетъ на томъ мѣстѣ, гдѣ находится предметъ, давшій изображеніе на сѣтчаткѣ. Теоретически это вѣрно, но на практикѣ мы этого воспроизведенія ретинальнаго изображенія не увидимъ, хотя оно несомнѣнно есть изображеніе дѣйствительное. Оно слишкомъ удалено и размѣры его слишкомъ малы, такъ какъ находятся въ зависимости отъ размѣровъ зрачка. Да и количество свѣта будетъ настолько мало, теряясь на большомъ разстояніи, что изображеніе это, вѣрное по теоріи, совершенно будетъ потеряно въ примѣненіи. Если бы можно было возвращающимся изъ глаза лучамъ, имѣющимъ такое слабое схождение, что пересѣкаются только на далекомъ разстояніи,—дать болѣе сильное схождение, то такіе лучи пересѣкались бы ближе къ глазу, выиграли бы въ яркости освѣщенія и могли бы составить отчетливое дѣйствительное, обратное изображение въ воздухѣ, могли бы быть пойманы на экранѣ. Такіе глаза есть и въ дѣйствительности: это близорукіе глаза. Чтобы ясно видѣть, близорукій глазъ болѣе или менѣе значительно придвигаетъ къ себѣ предметъ, получаетъ, слѣдовательно, отъ предмета лучи расходящіеся. Эти же лучи, возвращаясь прежнимъ порядкомъ изъ глаза, отъ сѣтчатки, получаютъ направленіе уже сходящееся, и могутъ дать впереди глаза дѣйствительное и обратное изображение. Но и всякій, совершенно нормальный (годный для параллельныхъ лучей) глазъ можно искусственно сдѣлать близорукимъ, поставивъ передъ нимъ выпуклое стекло, т.-е. подвергнувъ параллельные лучи преломленію. Такъ мы и поступаемъ: ставимъ передъ зрачкомъ глаза выпуклое стекло и получаемъ дѣйствительное и обратное изображение отъ дна наблюдаемаго глаза, точно такъ же, какъ получаемъ изображеніе стѣны комнаты на матовомъ стеклѣ фотографической камеры.

И такъ мы пришли къ тому, что 1) внутренность глаза освѣтить можно, о чемъ заключаемъ 2) по свѣченію зрачка, при-

чемъ 3) количество свѣта можетъ быть опредѣлено; 4) получилась, кромѣ того, возможность видѣть внутренность глаза, не застилая головой освѣщенія, и притомъ видѣть или а) въ прямомъ мнимомъ изображеніи, или б) въ обратномъ дѣйствительномъ. Въ послѣднемъ случаѣ мы какъ будто выносимъ изъ комнаты заднюю стѣнку въ увеличенномъ и обратномъ видѣ на воздухъ. При этомъ мы дѣлаемъ наблюдаемый глазъ близорукимъ.

Чтобы все это произвести съ глазомъ, намъ необходимы: освѣтитель глаза и вызыватель изображенія, т.-е. отражающая поверхность и собирательное (выпуклое) стекло. И то и другое имѣется въ *глазномъ зеркалѣ* или *офтальмоскопѣ* (рис. 34, 35).

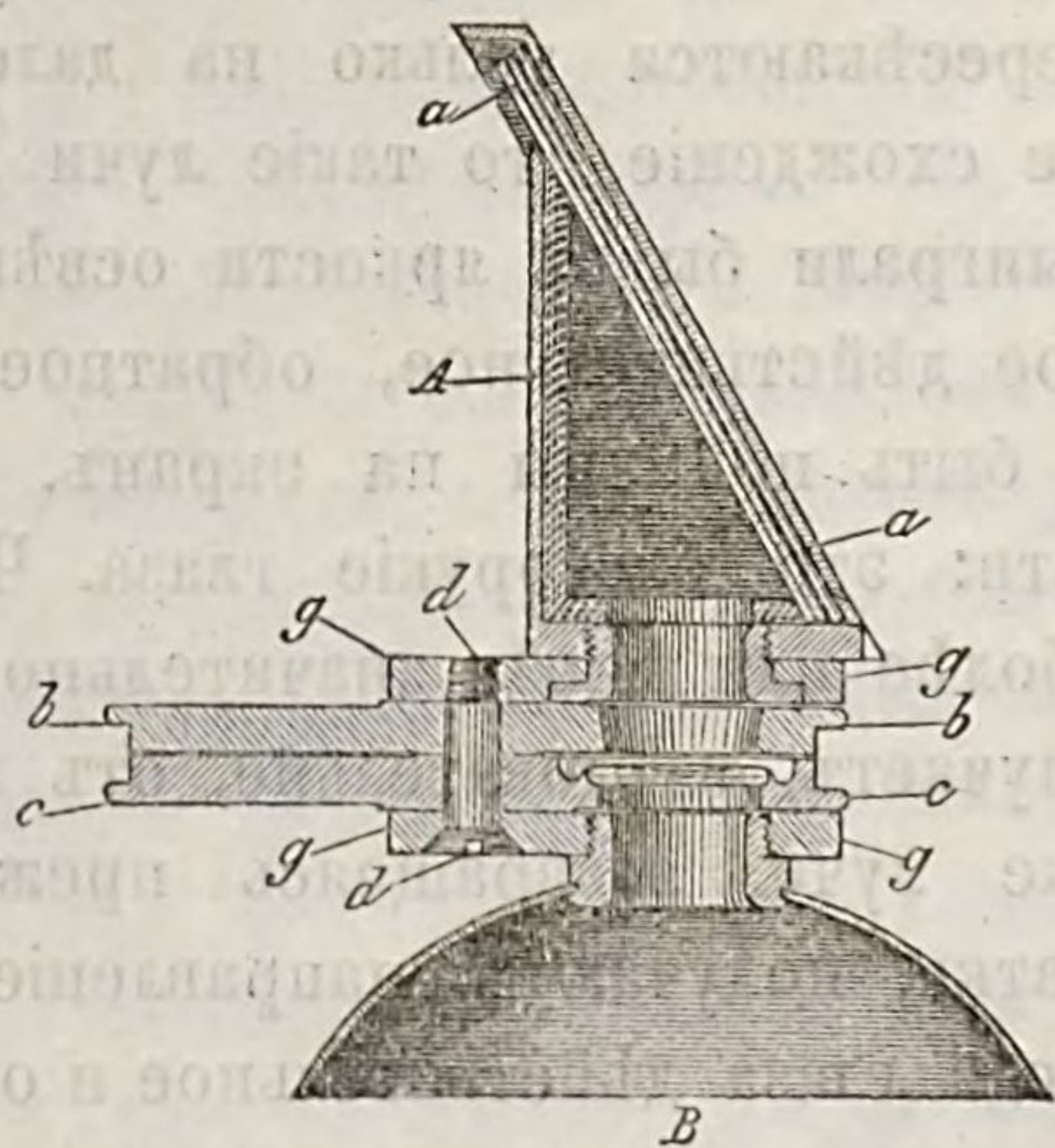


Рис. 34.

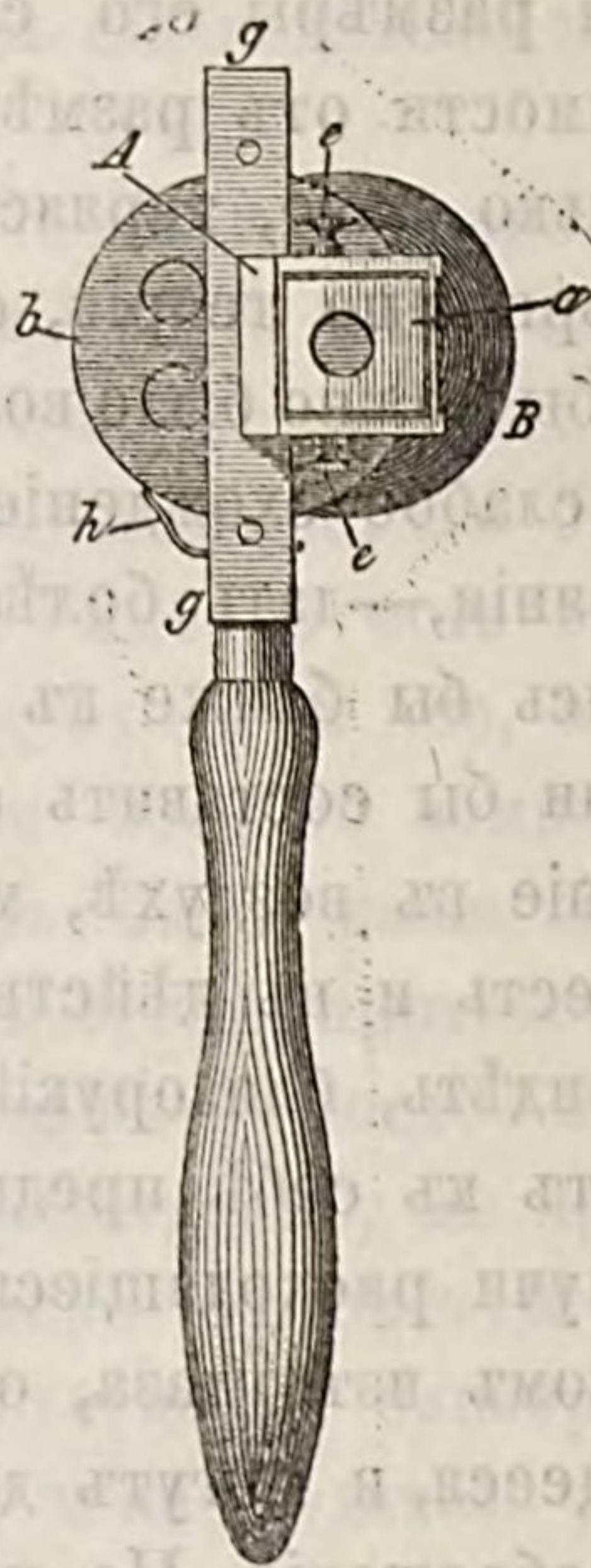


Рис. 35.

Первоначальный офтальмоскопъ Гельмгольца былъ устроенъ изъ плоско-параллельной стеклянной пластинки; она въ одно и то же время и отбрасывала свѣтъ лампы въ наблюдаемый глазъ, и позволяла сквозь себя разсматривать глазу наблюдающему. Такъ какъ стекло имѣетъ только двѣ отражающихъ поверхности и даетъ мало свѣта, Гельмгольтцъ взялъ три или четыре пластинки (aa), сложилъ вмѣстѣ и получилъ такимъ образомъ отраженіе отъ 6 или 8 поверхностей. Во избѣжаніе Ньютоновыхъ колецъ, пла-

стинки были по краямъ переложены тонкими оловянными листиками и заключали слѣдовательно въ промежуткахъ тонкій слой воздуха. Вычисленіемъ Гельмгольтцъ показалъ, что наибольшее полезное дѣйствіе отраженнаго свѣта получается при слѣдующихъ углахъ паденія:

отъ одной пластинки.....	70°
› трехъ ›	60°
› четырехъ ›	56°.

Кружки *b* и *c* могущіе вращаться около оси *dd*, снабжены пятью отверстіями; въ четыре изъ нихъ вправлены различныя оптическія стекла, а пятое оставлено пустымъ. Такимъ образомъ можно, смотря по надобности, ставить на пути лучей то или другое стекло, или же комбинацію двухъ стеколъ. Глазъ наблюдателя прикладывается къ отверстію *B*.

Не смотря на то, что стеклянныя (не амальгмированные) пластинки отражаютъ только половину свѣта, зеркало Гельмгольтца имѣетъ преимущество передъ амальгмированными въ томъ, что 1) изслѣдуемый глазъ не страдаетъ отъ избытка свѣта, 2) зрачокъ поэтому не сильно суживается и не мѣшаетъ изслѣдованію, и 3) благодаря поляризованному свѣту отъ зеркала, отраженіе отъ роговой оболочки изслѣдуемаго глаза менѣе ярко и потому менѣе мѣшаетъ изслѣдованію.

Своему первоначальному зеркалу Гельмгольтцъ отдаетъ предпочтеніе предъ другими. (Нужно сказать, что онъ изслѣдовалъ въ прямомъ изображеніи, при которомъ увеличеніе достигаетъ почти 15 разъ). Главное преимущество въ томъ, что, даже при искусственно расширенномъ зрачкѣ свѣтъ этого зеркала до того мало ослѣпляетъ глазъ, что самъ Гельмгольтцъ показывалъ свою сѣтчатку 20-ти слушателямъ, которые одинъ за другимъ изслѣдовали его; тогда какъ пятиминутное изслѣдованіе зеркаломъ амальгмированнымъ уже дѣлало изслѣдованіе непріятнымъ. Своему зеркалу Гельмгольтцъ отводитъ первое мѣсто въ фізіологическихъ работахъ; въ медицинскихъ же цѣляхъ, гдѣ поле зрѣнія нужно сдѣлать больше, онъ отдаетъ предпочтеніе амальгмированнымъ зеркаламъ и изслѣдованію въ обратномъ изображеніи.

Послѣ Гельмгольтца явилась длинная вереница различнѣйшихъ

офтальмоскоповъ, описывать которые было бы бесполезно, тѣмъ болѣе что самыя незначительныя измѣненія во внѣшнемъ видѣ, въ размѣрѣ зеркала, фокусной длинѣ его, даже въ рукояткѣ и футлярѣ, не мѣшали изобрѣтателямъ давать свое имя этимъ зеркаламъ, чего однако большею частью ни изобрѣтатели, ни изобрѣтенія не заслуживали. Вереница именъ, вереница разнообразностей зеркалъ, нисколько не мѣняетъ дѣла. Первый офтальмоскопъ все-таки данъ Гельмгольтцомъ; съ его офтальмоскопомъ покойный Э. ф.-Егеръ сдѣлалъ свои классическіе рисунки офтальмоскопіи. Всѣ остальные зеркала составляютъ только развитіе идей Гельмгольца; они сдѣланы изъ амальгмированныхъ или металлическихъ зеркалъ и могутъ быть группированы по тремъ главнымъ типамъ: вогнутыя зеркала по Рюте, плоскія по Кокціусу и выпуклыя—менѣе всего удобныя—по Цеэндеру.

Въ послѣдніе 10—15 лѣтъ, все по той же идеѣ Гельмгольца, стали все чаще прибѣгать къ изслѣдованію въ прямомъ изображеніи. Для опредѣленія преломляющей способности глаза, устроили такъ-называемые рефракціонные офтальмоскопы. Посредствомъ ихъ возможно опредѣлить, имѣемъ ли мы дѣло съ нормальнымъ, близорукимъ или дальнозоркимъ глазомъ, и мало того—можно съ большою точностью опредѣлить степень, на примѣръ, близорукости, и соотвѣтственно этому опредѣленію дать очки. Особенно важно это въ послѣднее время для опредѣленія зрѣнія при отбываніи общей воинской повинности. Описаніе рефракціоннаго офтальмоскопа, способъ его употребленія и пр. завели бы насъ слишкомъ далеко. Довольно сказать, что и рефракціонный офтальмоскопъ устроенъ по принципамъ Гельмгольца.

Для того чтобы ярче освѣтить значеніе Гельмгольцова открытія, мнѣ остается сказать и показать, что же мы видимъ въ глазу и насколько офтальмологія выиграла отъ этого изобрѣтенія. Видимъ ли мы въ глазу теперь то, чего прежде никогда не видали? Путь, который офтальмологи проходили ранѣе Гельмгольца, былъ тяжелый путь. Не только внутренность больного, но и здороваго живаго глаза, была имъ неизвѣстна, посмертныя же явленія составляли лишь матеріалъ для позднѣйшей разработки. Шагъ за шагомъ приходилось завоевывать свѣдѣнія, приходилось прибѣгать къ догадкамъ и предположеніямъ, приходилось опредѣлять болѣзнь на

угадъ, и даже подчасъ съ горькимъ чувствомъ безсилія отшучиваться, какъ, на примѣръ, отшучивался извѣстный проф. Вальтеръ изъ Праги, описывавшій такъ-называемую темную воду. Темная вода, говоритъ Вальтеръ, есть такое болѣзненное состояніе глазъ, при которомъ больной ничего не видитъ, да и врачъ тоже ничего. Наблюденія собирались кропотливо, и только послѣ появленія Гельмгольцовскаго офталмоскопа могли быть разобраны и утилизированы при содѣйствіи такой плеяды знаменитыхъ современниковъ и учениковъ Гельмгольца, какъ Грефе, Дондерсъ, Гейнрихъ Мюллеръ, Максъ Шульцъ, Арльтъ, Герингъ, Штелльвагъ-фонъ-Каріонъ, Эд. Ф. Егеръ, Отто Беккеръ, Пагенштехеръ и др.

Наступила новая эра. Для нагляднаго доказательства я позволю себѣ показать вамъ изображенія здороваго глаза и нѣсколькихъ болѣзненныхъ формъ ¹⁾. Обыкновенно измѣненія, открываемыя офталмоскопомъ, бываютъ или въ зрительномъ нервѣ, или въ сѣтчаткѣ, или въ сосудистой оболочкѣ, или же во всѣхъ вмѣстѣ. Страданія глазъ бываютъ или самостоятельныя, или зависящія отъ

страданія другихъ, иногда весьма отдаленныхъ органовъ: сердца, почекъ, мозга и др.

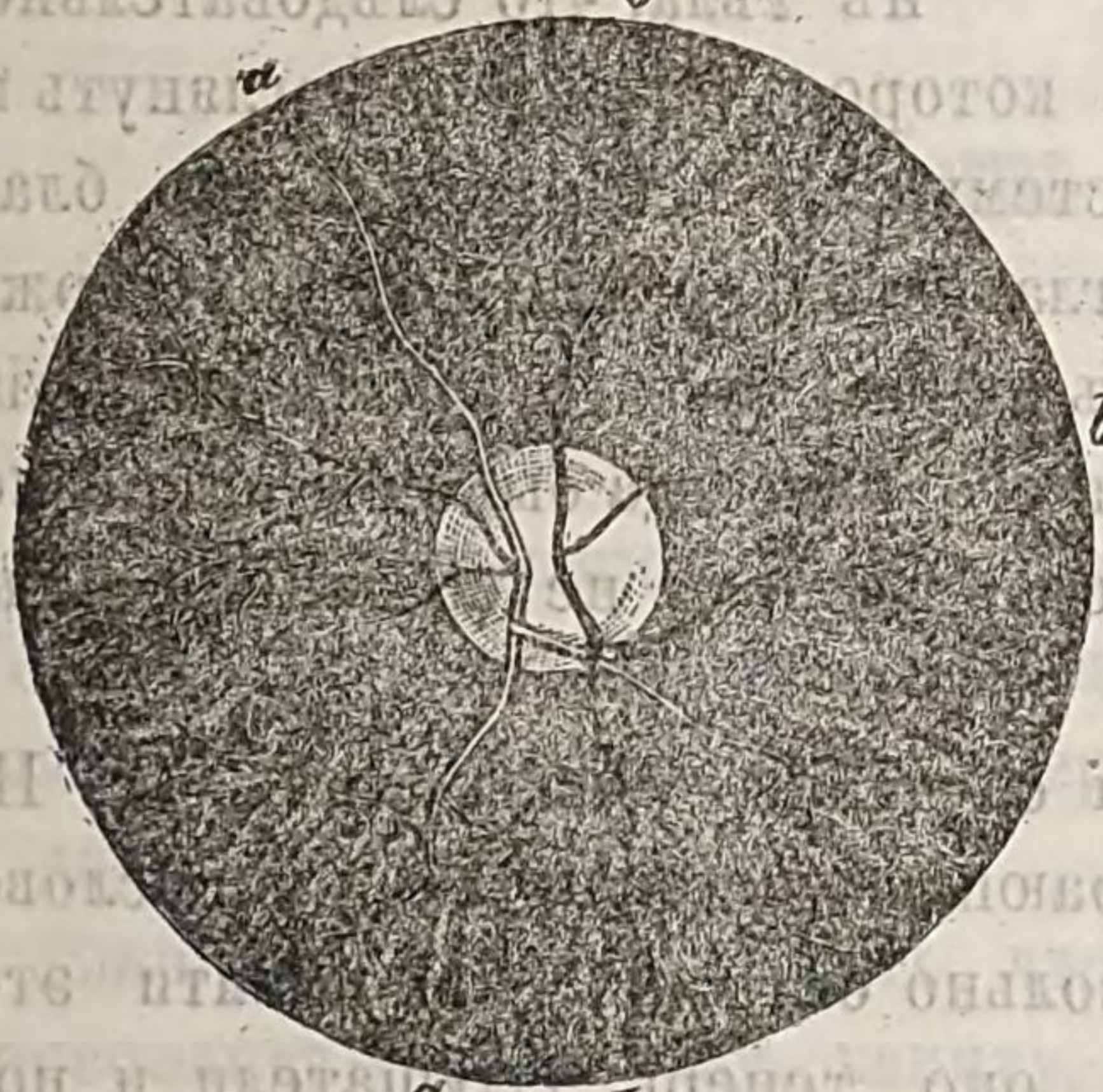


Рис. 36.

Вотъ представитель нормальнаго дна глаза (рис. 36). Сѣтчатая оболочка такъ прозрачна, что ея не видно: видны только ея сосуды. Она не мѣшаетъ видѣть сосудистую оболочку. Склеротика же въ нормальныхъ условіяхъ покрыта сосудистою и, благодаря своей бѣлизнѣ и сильной отражательной способности, она освѣщаетъ наполненную кровью сосудистую оболочку сзади, и потому послѣдняя видна освѣщенной сзади, — видна насквозь, какъ транспарантъ.

¹⁾ На лекціи было показано большое число рисунковъ, изъ нихъ воспроизводимъ только два.

На рис. 37 мы видимъ форму, къ которой приводитъ сильная близорукость, или благодаря которой развивается такъ-называемая прогрессивная близорукость.

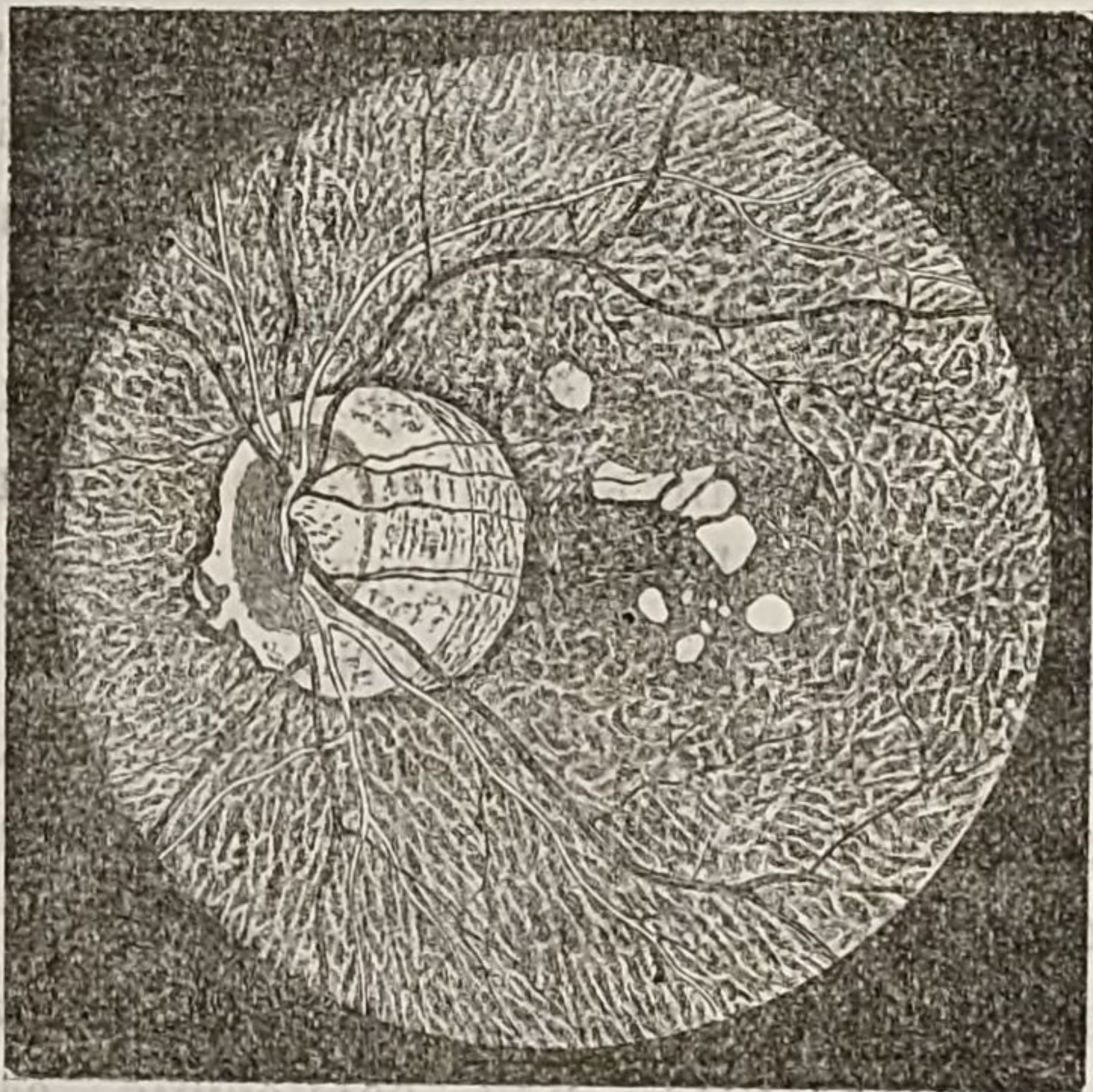
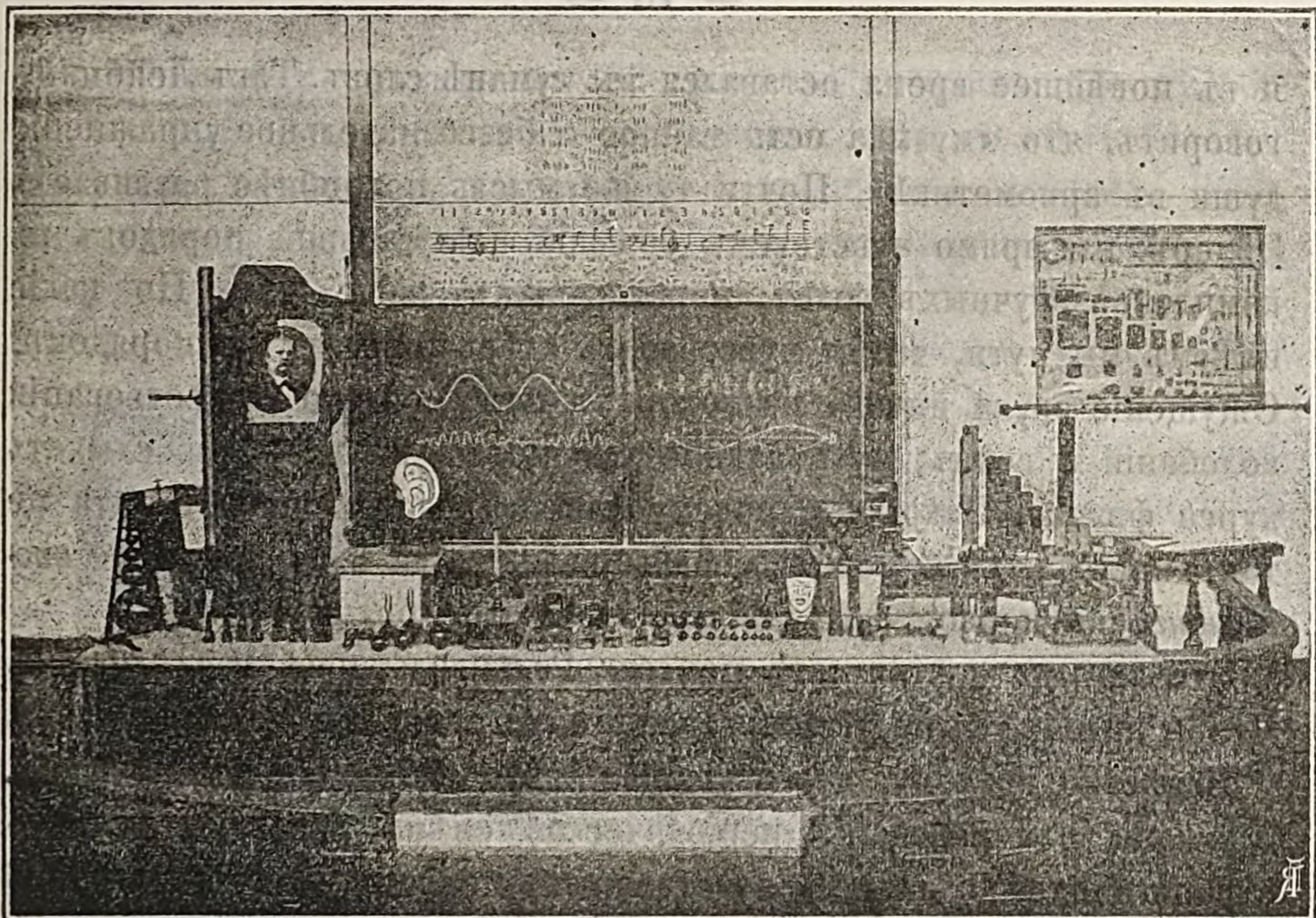


Рис. 37.

Я думаю, ясно теперь даже для незнакомыхъ специально съ офталмологіей, что глазъ уже не представляетъ собою матеріала для всякихъ болѣе или менѣе рискованныхъ догадокъ и предположеній; что болѣзненные измѣненія въ глазѣ рѣзко отличаются одно отъ другаго; что эти измѣненія въ глазѣ даютъ возможность вѣрныхъ заключеній о болѣзни въ томъ или другомъ отдаленномъ отъ глаза органѣ тѣла; что слѣдовательно глазъ представляетъ окно, черезъ которое позволено заглянуть и въ нервную, и въ сосудистую систему... И все это сдѣлано благодаря открытію Гельмгольтцомъ глазнаго зеркала. Смѣло утверждаю, что если бы даже Гельмгольтцъ ничего другаго, кромѣ открытія глазнаго зеркала, не сдѣлалъ, имя его навсегда было бы написано яркими буквами на страницахъ исторіи—если не созданной имъ, то возрожденной—офтальмологіи.

Нѣсколько лѣтъ тому назадъ я случайно узналъ (отъ В. Н. Бензенгра), что на нарѣчьи вымирающаго племени Вогуловъ слово *гельм-гольцъ* значитъ *человѣкъ*. Невольно осталось въ памяти это свѣдѣніе, невольно вспоминается оно теперь. Слушатели и почитатели Гельмгольца, преклоняясь предъ его умственной силой, не забудутъ и другой стороны его духовнаго облика,—не забудутъ *человѣчности* знаменитаго ученаго. Пожеланіемъ, чтобы Гельмгольтцъ долго продолжалъ украшать собою науку и человѣчество, я позволю себѣ закончить мою лекцію.

А. Маклаковъ.



V. Работы по акустикѣ.

Мм. Гг.

Не легко въ одной лекціи дать понятіе о такой книгѣ, какъ Гельмгольцово «Ученіе объ ощущеніяхъ тоновъ». Я сдѣлаю центральнымъ пунктомъ моего очерка вопросъ о причинѣ консонанса и диссонанса звуковъ.

Еще Пифагоръ замѣтилъ, что когда двѣ струны звучатъ въ консонансѣ—въ октаву, квинту, кварту,—то длины струнъ относятся какъ простѣйшія числа: $1:2$, $2:3$, $3:4$. Новая физика, изслѣдуя дрожаніе звучащихъ тѣлъ, замѣнила этотъ законъ болѣе общимъ: *періоды колебаній* относятся какъ простые числа (въ случаѣ струнъ эти періоды пропорціональны длинамъ).

Но почему простота числоваго отношенія отвѣчаетъ пріятному созвучію, почему уклоненіе отъ этой простоты даетъ ощущеніе беспокойнаго, какъ бы болѣзненнаго характера? Этотъ вопросъ

и въ новѣйшее время оставался въ туманѣ словъ. Такъ Лейбницъ говоритъ, что «музыка есть тайное и безсознательное упражненіе души въ ариѳметикѣ». Почти ту же мысль подробнѣе развиваетъ Эйлеръ: мы прямо чувствуемъ большій или меньшій порядокъ въ комплексѣ звучныхъ волнъ, поражающихъ наше ухо. Но какіе имѣемъ мы пути, чтобы чувствовать здѣсь простоту или порядокъ? Ощущеніе звука ничего не говоритъ намъ даже о существованіи колебаній и волнъ; музыкальное ухо могло ни разу не слышать курса физики. Наконецъ, почему слегка разстроенная квинта не такъ пріятна, какъ совсѣмъ фальшивая, тогда какъ *простота отношеній* въ первомъ случаѣ нарушена еще больше?

Эта загадка составляетъ центръ Гельмгольца изслѣдованія. Чтобы подойти къ ея рѣшенію, вспомнимъ основные факты акустики.

Извѣстно всякому, что звучащее тѣло находится въ дрожаніи. Дрожанія или колебанія, періодическая смѣна давленій, распространяющихся до нашихъ чувственныхъ нервовъ,—таковъ внѣшній объектъ, лежащій въ основѣ большинства нашихъ ощущеній: слуха, зрѣнія, отчасти осязанія. Безъ колебаній природа была бы мрачна, нѣма и холодна для насъ,—лучше сказать, она не могла бы быть предметомъ ясныхъ ощущеній. Колебаніе становится *звукомъ*, когда затронетъ слуховой нервъ, *свѣтомъ*—буде зрительный, и т. д. *Ощущенія* получаютъ вполне разнородныя, несравнимыя; но это зависитъ отъ разнородности не внѣшнихъ процессовъ, которые могутъ быть сходны, а—тѣхъ *пріемниковъ* въ чувствующемъ организмѣ (нервовъ), которые при этомъ возбуждаются.

Посредникомъ между звучащимъ предметомъ и органомъ слуха обыкновенно служитъ воздушный океанъ, которымъ омываются и тотъ и другой; въ духовыхъ инструментахъ и звучащимъ тѣломъ служитъ отдѣльная порція воздуха. Толчками дрожащей струны, или воздуха органной трубки, порождаются *волны* въ окружающемъ воздухѣ; эти волны, идя во всѣ стороны дальше и дальше, доходятъ до уха и приводятъ его части въ колебаніе, подобное тому, какое происходитъ въ звучащемъ тѣлѣ.

Звукъ становится *музыкальнымъ*, если колебаніе повторяется много разъ въ правильномъ, строго періодическомъ порядкѣ; иначе мы ощущаемъ шумъ, стукъ и пр. Чтобы ощущаться какъ звукъ, колебаніе не должно повторяться ни слишкомъ рѣдко, ни слишкомъ

часто: примѣрно не меньше 20 разъ въ секунду, не больше 40000 разъ; иначе мы его не услышимъ. Звуки, употребительные въ музыкѣ, даютъ отъ 40 до 4500 колебаній въ секунду. Чѣмъ больше число колебаній (чѣмъ меньше продолжительность или *периодъ* одного колебанія), тѣмъ звукъ выше. Эта «сирена» (рис.



38) — любимый музыкальный инструментъ физиковъ — покажетъ, какъ повышается тонъ съ возрастаніемъ числа колебаній. Вставленная въ акустическій мѣхъ, откуда, дѣйствуя педалью, я выпускаю сильную воздушную струю, сирена начинаетъ пѣть. Воздушная струя вертитъ крышку сирены, имѣющую нѣсколько — положимъ 20 — отверстій и лежащую надъ подобною же неподвижною крышкой, причемъ то запираетъ себѣ выходъ наружу, то открываетъ. Наружный воздухъ получаетъ такимъ образомъ по 20 толчковъ въ теченіе каждаго оборота крышки, и мы получаемъ звучную волну. По мѣрѣ того какъ крышка вер-

тится быстрѣе и быстрѣе, звукъ отъ низкихъ нотъ переходитъ къ болѣе и болѣе высокимъ. До предѣла высокихъ нотъ, — т.-е. до колебаній столь частыхъ, что они уже не слышны, — я не дойду такимъ путемъ. Другой маленькій снарядъ, особаго рода свистокъ (рис. 39), дастъ мнѣ болѣе высокіе звуки. Это маленькая трубочка, которую я могу сдѣлать длиннѣе и короче, и къ которой присаженъ резиновый шаръ; сжимая воздухъ въ послѣднемъ и сокращая длину



трубочки, я получаю все болѣе и болѣе высокій пискъ; подъ конецъ онъ слышенъ только вблизи, а потомъ не слышенъ даже мнѣ самому (слышенъ только шумъ сжимаемаго шара).

Рядъ 8-ми камертоновъ различной величины, укрѣпленныхъ каждый на резонансовомъ ящикѣ (рис. 40), дастъ мнѣ нѣкоторые

изъ этихъ звуковъ такъ-сказать фиксированными. Каждый разъ, когда я—руками, молоточкомъ или смычкомъ—привожу въ качанія самый большой изъ этихъ камертоновъ, онъ даетъ мнѣ одну и ту

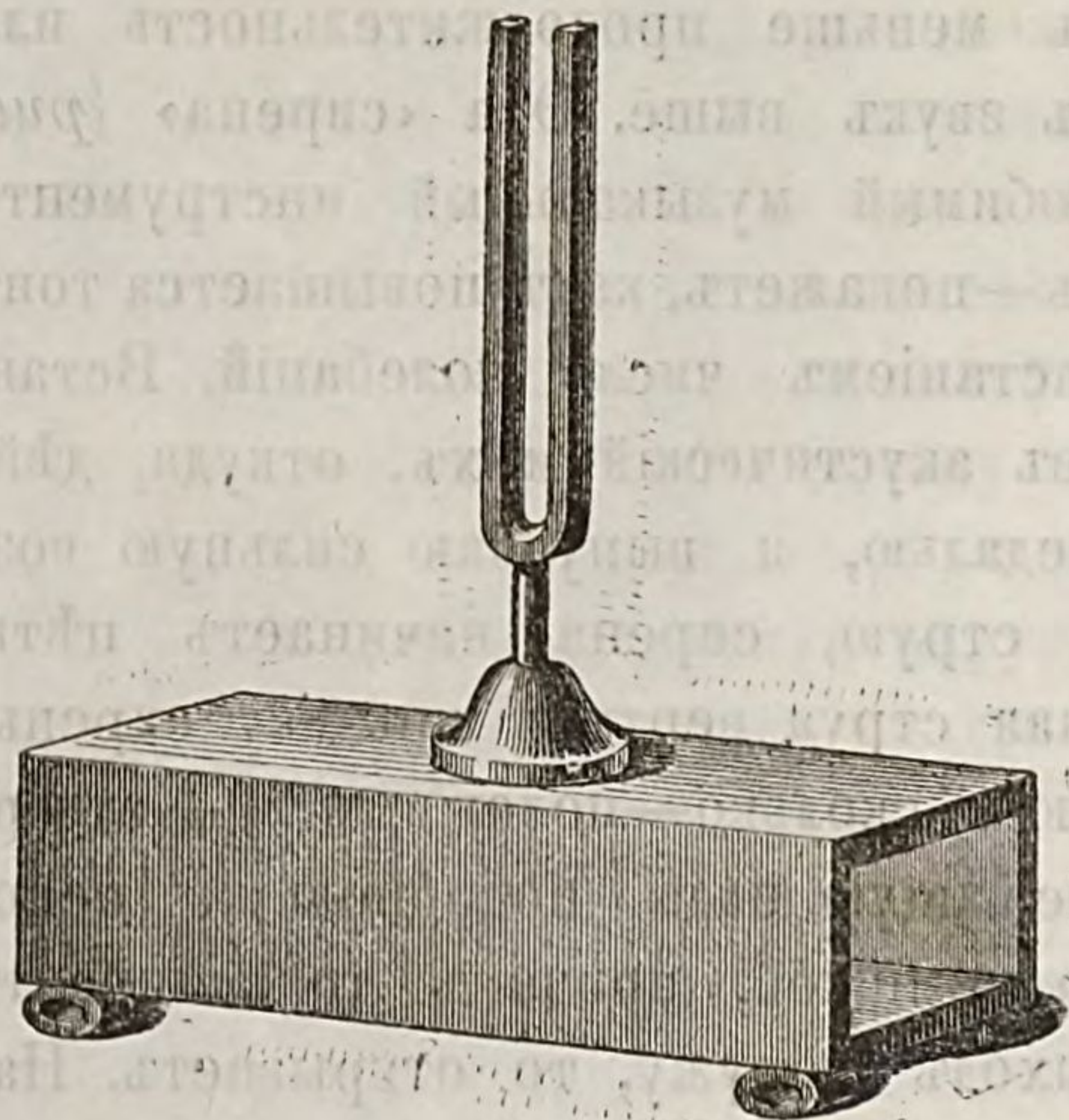


Рис. 40.

же ноту, do_2 , совершая при этомъ 128 качаній въ секунду. — Это число качаній можно съ точностью сосчитать особыми способами. — Второй, меньшаго размѣра камертонъ даетъ верхнюю октаву предыдущаго звука— do_3 (256 кач.); третій—*квинту* втораго звука, sol_3 (384 кач.); четвертый — *кварту* третьяго или вторую октаву перваго do_4 (512 кач.); пятый—*большую терцію* четвертаго, mi_4 (640 кач.); шестой—*малую терцію* пятаго или октаву третьяго, sol_4 (768 кач.). И т.д. Эти числа—числа качаній моихъ камертоновъ—относятся какъ $1:2:3:4:5:6:7:8$; но этотъ рядъ могъ бы быть продолженъ. Музыкальныя обозначенія этихъ звуковъ и соотвѣтственные числа колебаній показаны на прилагаемомъ чертежѣ ¹⁾.

1	2	3	4	5	6	7	8
Do_2	Do_3	Sol_3	Do_4	Mi_4	Sol_4	$La_4^\sharp$	Do_5
128	256	384	512	640	768	896	1024

¹⁾ Строй этихъ камертоновъ, и всѣхъ вообще ниже упоминаемыхъ инструментовъ, нѣсколько ниже, чѣмъ принятый у музыкантовъ: среднее la (la_3) нормальнаго музыкальнаго строя имѣетъ 435 качаній, тогда какъ для нашихъ камертоновъ оно соотвѣтствовало бы 427. Знакомъ $+$ обозначаемъ, что звукъ нѣсколько выше, чѣмъ обозначено нотой и числомъ колебаній.

Кромѣ *высоты*, мы различаемъ *силу* звука. Она зависитъ не отъ числа качаній, а отъ величины размаховъ звуковой волны въ нашемъ ухѣ, а это значитъ—отъ величины размаховъ звучащаго тѣла и отъ его разстоянія отъ уха. Сотрясая камертонъ сильно или слабо, слушая его вблизи или издали, я получаю ту же самую ноту, только она звучитъ то громче, то тише.

Наконецъ, всякій знаетъ, что одна и та же нота, взятая на рояли, скрипкѣ, флейтѣ, у того или другаго пѣвца, имѣетъ особый *оттѣнокъ* или *тембръ*. Въ чемъ состоитъ эта разница, увидимъ дальше.

Я сказалъ, что звукъ приносится въ ухо воздушною волною. Слово *волна* взято отъ всѣмъ знакомаго процесса, наблюдаемаго на водѣ то въ видѣ мелкой ряби, то въ видѣ гигантскихъ валовъ. Бросая камень въ воду, мы видимъ вокругъ мѣста удара кольцеобразный валъ, онъ какъ бы раздвигается, становясь шире и ниже, пока не потеряется изъ виду, или не наскочитъ на преграду, которая отброситъ его назадъ. Это движеніе вала вдоль воды есть видимость: каждая капля воды поднимается вверхъ и падаетъ внизъ; въ стороны разносится только *толчокъ* изнутри кольца наружу; всякій валъ, возникая и сглаживаясь на одномъ кругѣ, становится причиной подъема и паденія слѣдующаго, и т. д. Повторяя удары камнемъ въ такой тактъ, чтобы поддержать въ мѣстѣ удара періодическое качаніе воды вверхъ и внизъ, мы вызовемъ рядъ водяныхъ колецъ, какъ бы бѣгущихъ другъ за другомъ. Въ каждомъ изъ нихъ есть *валъ* (подъемъ) и *долъ* (углубленіе); разстояніе отъ одной вершины до слѣдующей есть *длина волны*; съ каждымъ новымъ ударомъ одна волна какъ бы замѣщаетъ другую, т.-е. подвигается на длину волны.

Волна воздушная аналогична водяной, но не вполне. Верхняя кривая линія *a* (рис. 41) изображаетъ рядъ невысокихъ волнъ на водѣ (мы ее и называемъ *волнистою* линіей). Вообразимъ себѣ, что эти волны придавлены сверху и сглажены, но такъ, что жидкость не подалась въ стороны: гдѣ былъ подъемъ, тамъ жидкость сгустилась, гдѣ былъ долъ волны, тамъ не произошло сгущенія; вмѣсто валовъ и долинъ будутъ поочередныя измѣненія плотности. Мы получимъ идею о томъ, что дѣлается въ воздухѣ вокругъ звучащаго предмета; но надо еще прибавить, что волны воздушныя

бѣгутъ не горизонтально только, а и вверхъ, и внизъ, и во всѣ стороны,—стелются не кругами, а шарами.

Тотъ же чертежъ можетъ изображать намъ и эти невидимыя волны воздушныхъ сгущеній, но не какъ *рисунокъ*, а какъ *символъ*:

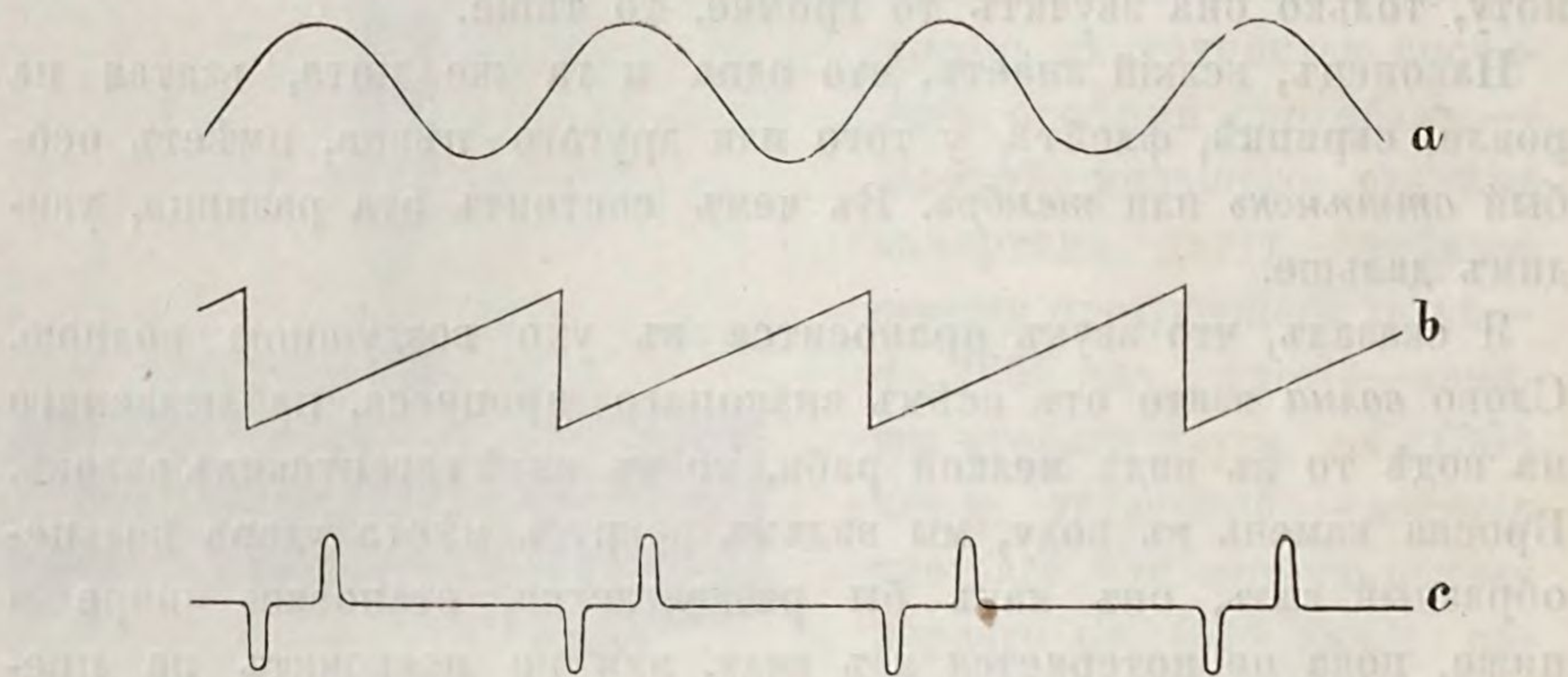


Рис. 41.

всякій подъемъ на чертежѣ надо понимать, какъ подъемъ плотности (а слѣдовательно и давленія); гдѣ подъемъ выше, тамъ соотвѣтственно сгустился воздухъ, поднялось его давленіе. Въ *этомъ* смыслѣ мы будемъ говорить о *формѣ* воздушныхъ волнъ.

Въ числѣ этихъ формъ, которыя могутъ быть бесконечно-разнообразны, есть одна, особенно плавная и вполне симметричная: ее изображаетъ верхняя кривая (a). Такую звучную волну въ воздухѣ даетъ каждый изъ нашихъ камертоновъ. Но струна скрипки дастъ волну формы (b): здѣсь плотность воздуха растетъ медленно, потомъ падаетъ сразу. Струна цитры пошлетъ волну формы (c): плотность повышается и падаетъ короткими толчками, а въ промежуткахъ остается безъ перемѣны.

Вотъ эти-то особенности въ *формѣ* звучныхъ волнъ, соотвѣтствующія особенностямъ въ *формѣ* колебаній звучащихъ тѣлъ, должны быть, такъ или иначе, причиною различія въ *тембрѣ* звука. Всѣ три волны имѣютъ одинаковую длину (и одинаковое число колебаній), у всѣхъ одинаковые размахи—и тѣмъ не менѣе онѣ ощущаются различно. Чѣмъ плавнѣе форма волны, тѣмъ мягче тембръ; чѣмъ она угловатѣе, тѣмъ онъ рѣзче, острѣе.

Но какимъ путемъ мы можемъ ощущать это различіе? Этотъ вопросъ, *вопросъ о тембрѣ*, очень важенъ для нашей цѣли. Чтобы подойти ближе къ нему, поговоримъ о такъ называемомъ *наложеніи волнъ*.

Всего проще имѣть въ виду волны на водѣ; что скажемъ о нихъ, прилагается и къ волнамъ воздушнымъ.

Когда идутъ двѣ, три волны, то онѣ *налагаются* одна на другую. Если одна имѣетъ (рис. 42) форму (1), другая — форму (2), то

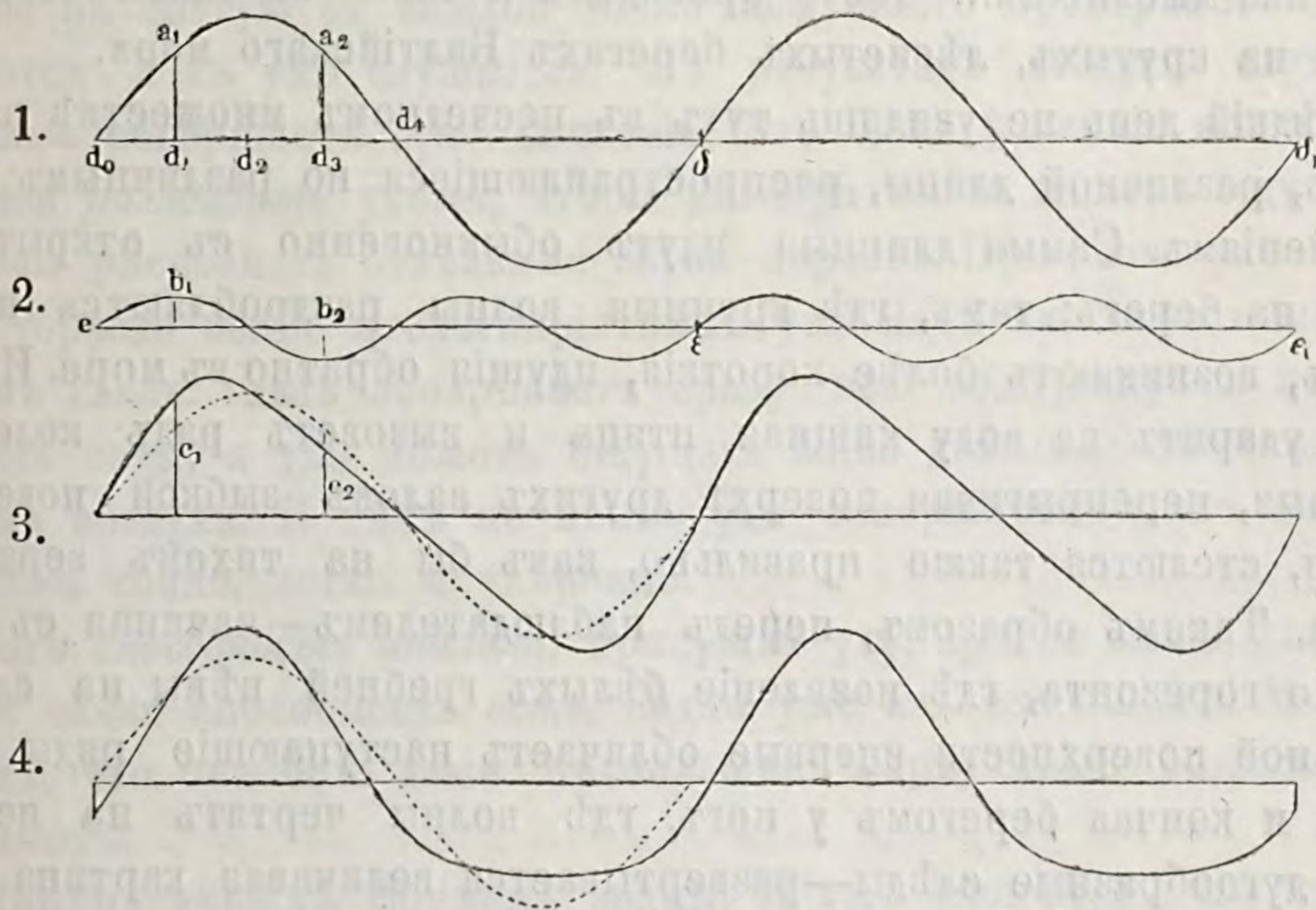


Рис. 42.

обѣ вмѣстѣ дадутъ новую форму (3), которая представляетъ какъ бы наслоеніе одной волны поверхъ другой: каждая точка формы (2), напримѣръ, точка b_1 , ляжетъ настолько выше или ниже соответственной точки a_1 кривой (1), насколько на отдѣльномъ чертежѣ она лежала выше или ниже средняго уровня. Результатомъ этого и является составная волна (3); при другомъ относительномъ расположеніи двухъ составляющихъ волнъ (1) и (2), изъ нихъ получилась бы волна вида (4), или еще какая-либо другая.

Такимъ образомъ могутъ наслояться, или налагаться, не только двѣ, но и сколько угодно волнъ. При этомъ, какъ говорятъ въ математикѣ, приходится *алгебраически складывать* отдѣльные подъемы (т.-е. дѣйствительные *подъемы* прибавлять, а *спуски* вычитать).

Короче сказать, волна по волнѣ идетъ такъ же, какъ и по гладкой поверхности.

Эти явленія легко наблюдать на морѣ. Но здѣсь дадимъ слово Гельмгольтцу.

«Это поучительное зрѣлище», говоритъ онъ, «я всегда наблюдалъ съ какимъ-то особеннымъ наслажденіемъ, ибо здѣсь наглядно представляется тѣлесному оку то, что въ случаѣ звучныхъ волнъ, пересѣкающихъ воздухъ, открывается лишь умственному оку математика-мыслителя... Часто проводилъ я часы въ такомъ созерцаніи на крутыхъ, лѣсистыхъ берегахъ Балтійскаго моря.

«Рѣдкій день не увидишь тутъ въ несчетномъ множествѣ ряды волнъ, различной длины, распространяющіеся по различнымъ направленіямъ. Самыя длинныя идутъ обыкновенно съ открытаго моря на берегъ; тамъ, гдѣ крупныя волны раздробляются прибоемъ, возникаютъ болѣе короткія, идущія обратно въ море. Иной разъ ударить на воду хищная птица и вызоветъ рядъ колецъ, которыя, перепрыгивая поверхъ другихъ валовъ зыбкой поверхности, стелются также правильно, какъ бы на тихомъ зеркалѣ озера. Такимъ образомъ, передъ наблюдателемъ—начиная съ далекаго горизонта, гдѣ появленіе бѣлыхъ гребней пѣны на синестальной поверхности впервые обличаетъ наступающіе ряды валовъ, и кончая берегомъ у ногъ, гдѣ волны чертятъ на песокъ свои дугообразныя слѣды—развертывается величавая картина необъятной силы и вѣчно-новаго разнообразія,—картина, которая не смущаетъ, а приковываетъ и возвышаетъ душу, ибо глазъ легко находитъ въ ней порядокъ и законъ.

«Подобнымъ образомъ вы должны представлять себѣ воздушное море концертной или танцевальной залы: оно—не по поверхности только, а по всѣмъ своимъ направленіямъ—пересѣчено пестрой толпой перекрещивающихся волнъ. Изъ рта мужчинъ идутъ крупныя волны 6—12 футъ длиною, изъ устъ женщинъ болѣе короткія, 1½—3 футъ. Шуршаніе платьевъ вызываетъ мелкіе вихри воздуха, всякій тонъ оркестра посылаетъ свои волны,—и всѣ эти системы волнъ распространяются шарообразно вокругъ своихъ исходныхъ пунктовъ, пробираются одна сквозь другую, отражаются стѣнами залы, и такъ ходятъ впередъ и назадъ, пока наконецъ не погаснутъ, пересиленныя вновь возникшими волнами.

«Это зрѣлище закрыто для тѣлеснаго глаза; но другой органъ помогаетъ намъ разобратъся въ немъ—наше ухо. Оно *разлагаетъ* смѣсь волнъ,—смѣсь гораздо болѣе сложную, чѣмъ волны моря,—разлагаетъ ее вновь на отдѣльные тоны, изъ которыхъ она сложилась; ухо различаетъ въ ней голоса мужчинъ и женщинъ, голоса отдѣльных лицъ, звуки различныхъ инструментовъ, шелестъ платья, шумъ шаговъ, и т. д.».

И воздушныя волны, какъ морскія, *суммируются*, налагаются одна на другую въ каждой точкѣ воздушнаго пространства, налагаются и въ ухѣ слушателя. Въ результатѣ воздухъ слуховаго канала совершаетъ *одно* движеніе. Это одно движеніе мы должны снова *разложить* ухомъ, чтобы разобратъся въ нашемъ ощущеніи, чтобы распознать отдѣльные звуки порознь. При этомъ ухо стоитъ въ гораздо болѣе неблагопріятныхъ условіяхъ для такого анализа, чѣмъ глазъ: глазъ обзрѣваетъ сразу всю волнующуюся поверхность воды, а ухо можетъ ощущать лишь движеніе смежнаго съ нимъ воздуха. И тѣмъ не менѣе ухо совершаетъ этотъ анализъ весьма точно, легко и увѣренно.

Эта *способность анализа*, присущая уху, крайне важна для насъ. Что такая способность *есть*, видно уже изъ сказаннаго. Мы увидимъ, что она есть даже въ большей мѣрѣ, чѣмъ обыкновенно думаютъ.

Возвратимся къ формамъ волны. Я уже упомянулъ, что звучная волна каждаго изъ нашихъ камертоновъ изображается особаго рода, плавною и симметричною, кривою линіей (математики называютъ ее *синусоидой*); таковы верхнія кривыя на *рис. 41 (а)* и *рис. 42 (1 и 2)*. Волны 1-го, 2-го, 3-го и т. д. камертона будутъ отличаться между собою тѣмъ, что ихъ зигзаги становятся все мельче и мельче, такъ что на одной и той же длинѣ приходится 1 зигзагъ одной, 2 зигзага другой, 3—третьей и т. д. (*рис. 43*).

Волны *такой* (синусоидальной) формы мы назовемъ — пока условно—*простыми* волнами, а соотвѣтственные звуки—*простыми* тонами. Рядъ простыхъ волнъ, которыхъ числа колебаній относятся какъ $1 : 2 : 3 : 4 : \dots$ называется *гармоническимъ* рядомъ, причемъ первая волна (низшая по числу колебаній, соотвѣтствующая числу 1) называется *основною*, а прочія (2, 3, 4,...) *верхними гармоническими*.

Если къ звуку низшаго камертона, дающаго основной тонъ (у насъ $do_2 = 128$ кач.) прибавимъ звукъ 2-го (256 кач.), то ясно, что періодичность останется прежняя: и теперь, какъ прежде, нѣкоторое движеніе повторяется 128 разъ въ секунду. Но это по-

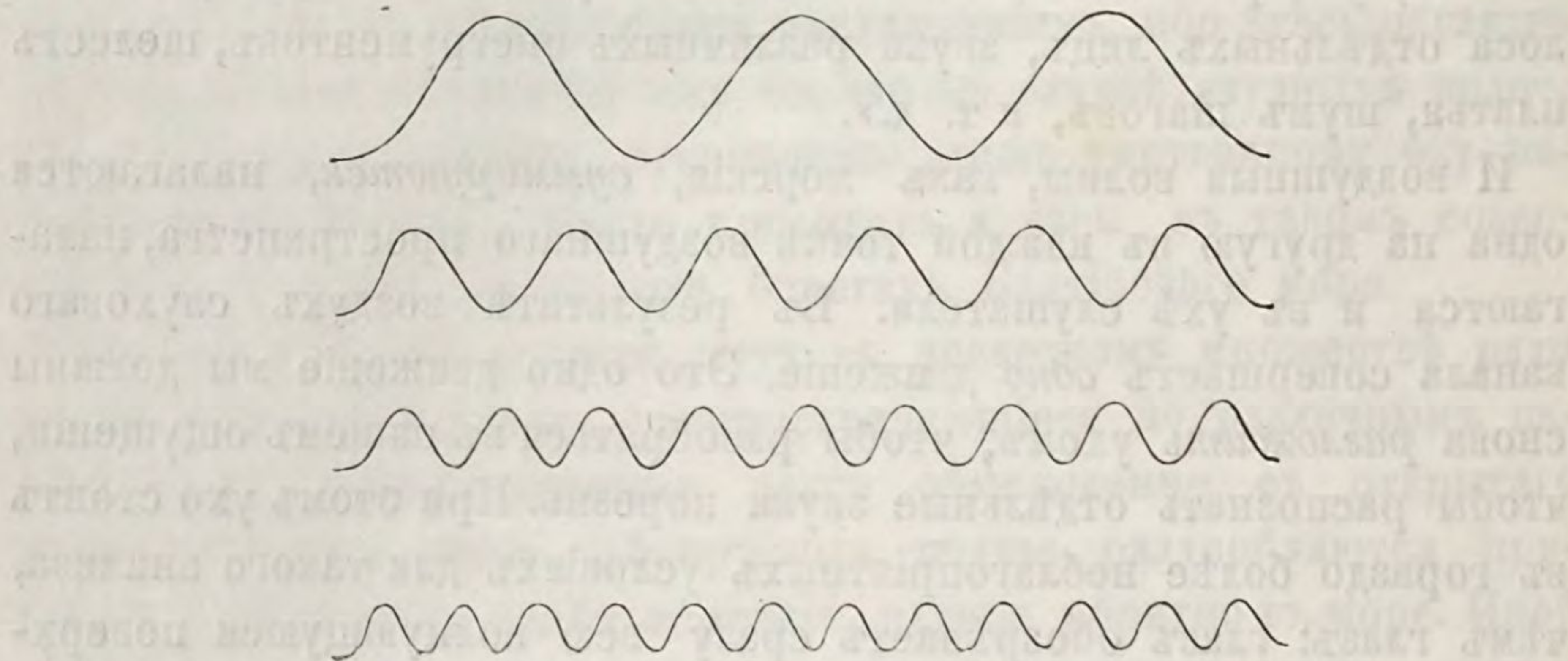


Рис. 43.

вторяемое движеніе будетъ уже иное, — форма волны измѣнилась, волна приняла напр. форму (3) или (4) рис. 42. Точно также, прибавляя звукъ 3-го, или любого изъ слѣдующихъ камертоновъ, одного или нѣсколькихъ, — мы не нарушимъ прежняго періода: онъ по прежнему будетъ зависѣть отъ *основнаго* тона; мы измѣнимъ только форму волны. Напротивъ, періодъ волны не сохранится, если къ основному тону мы прибавимъ такой, котораго число качаній относится къ числу качаній основнаго тона какъ $2\frac{1}{2}:1$, или $3\frac{1}{3}:1$, или $\sqrt{2}:1$, и т. п. ¹⁾

Такимъ образомъ, *изъ смѣси гармоническихъ простыхъ волнъ* *слагается всегда такая волна, которой періодъ соотвѣтствуетъ основной волнѣ гармоническаго ряда.*

Такимъ путемъ, т.-е. прибавляя верхніе гармоническіе тоны, въ разной силѣ и числѣ, къ тону основному, я могу безконечно разнообразить форму звучной формы, не мѣняя ея періода. Механика доказываетъ, что *большаго разнообразія и быть не можетъ*, — что

¹⁾ Нетрудно сообразить, что въ первомъ изъ этихъ примѣровъ отъ прибавка (наложенія) верхней волны періодъ удвоится, во второмъ — утроится, а въ третьемъ — движеніе потеряетъ строго періодическій характеръ.

всѣ формы волны исчерпываются указаннымъ приѣмомъ,—что любую изъ нихъ можно воспроизвести при помощи болѣе или менѣе длиннаго ряда гармоническихъ волнъ. Такъ напр. формы *b* или *c* (рис. 41) можно (и притомъ *однимъ*, вполне опредѣленнымъ способомъ), составить посредствомъ наложенія на форму *a* подобныхъ ей гармоническихъ синусоидъ, подбирая ихъ съ опредѣленными ширинами размаха (амплитудами) и помѣщая одну поверхъ другой въ опредѣленномъ положеніи.

Мы теперь понимаемъ, почему первая изъ этихъ волнъ (*a*, рис. 41) названа *простою*: всѣ прочія способны образоваться изъ простыхъ чрезъ наложеніе, способны разлагаться на простые,—всѣ онѣ суть *сложныя* волны. На глазъ форма *b*, наримѣръ, можетъ казаться проще чѣмъ *a*; но она не могла бы послужить для построенія всѣхъ прочихъ формъ, и съ точки зрѣнія механики она не есть простѣйшая.

Но волна сложной формы, напр. (2) или (3) на рис. 42, можетъ получаться отъ *одного* источника, напр. отъ одной струны. Въ этомъ случаѣ мы можемъ сказать, что такая струна даетъ собственно не одну простую волну, а нѣсколько простыхъ волнъ сразу—основную и верхнія гармоническія.

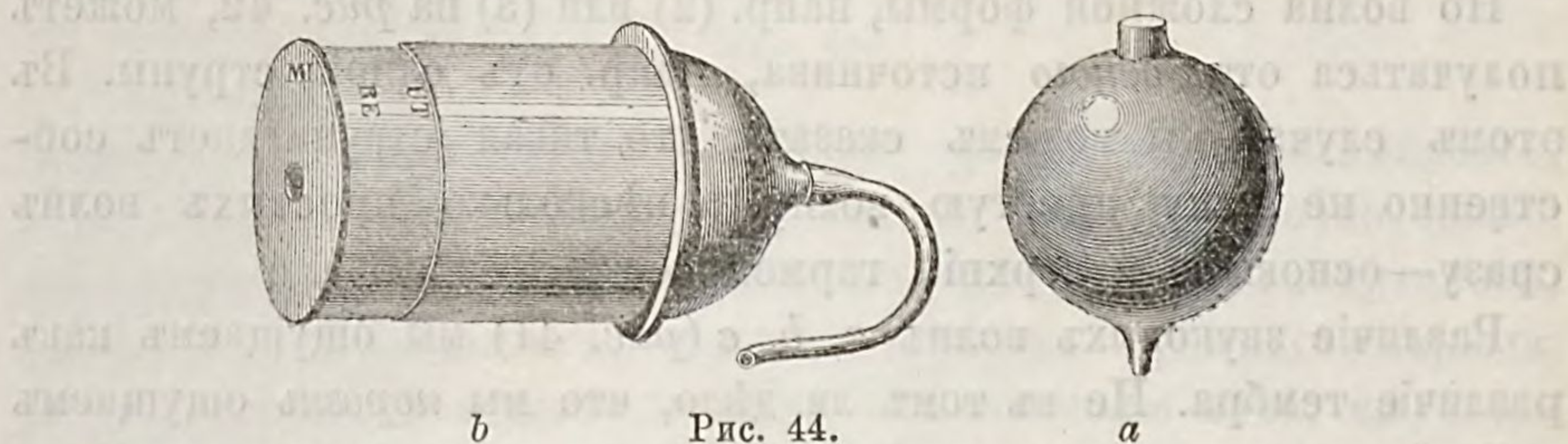
Различіе звуковыхъ волнъ *a*, *b*, *c* (рис. 41) мы ощущаемъ какъ различіе тембра. Не въ томъ ли дѣло, что мы *порознь* ощущаемъ всѣ тѣ простыя волны, какія имѣются въ воздухѣ, порознь слышимъ тѣ простыя тоны, какіе каждой изъ нихъ соотвѣтствуютъ? Не *анализируемъ* ли мы при этомъ *сложный звукъ*, какъ анализируетъ сложную волну механика? Не ощущаемъ ли сложный звукъ какъ *аккордъ* нѣсколькихъ простыхъ тоновъ?

Встрѣчается ли подобный анализъ звука у безжизненныхъ предметовъ? — Встрѣчается—въ видѣ такъ-называемаго *отзвука* или *резонанса*. Всякій знаетъ, что стекла оконъ порою дребезжатъ отъ *нѣкоторыхъ* звуковъ улицы, не откликаясь на другіе. Сильной и выдержанной нотой своего голоса пѣвецъ можетъ разбить стаканъ, приведя его въ сильную вибрацію. Поднося одинъ изъ моихъ камертоновъ къ органной трубѣ, звучащей въ унисонъ его, я слышу, что камертонъ тоже началъ звучать; теперь труба умолкла, а камертонъ явственно гудитъ.

Всякое тѣло имѣетъ одинъ или нѣсколько *собственныхъ тоновъ*,

которые легко изъ него вызвать и которые, разъ они вызваны, сравнительно долго длятся сами собою. Если воздушная волна приносить откуда либо колебанія въ ритмъ такого собственного тона, тѣло мало по малу раскачивается изъ покоя и воспринимаетъ такія же качанія,—оно *откликается* на внѣшній звукъ. Если этотъ послѣдній не попадаетъ въ ритмъ собственныхъ тоновъ тѣла, тѣло молчитъ. Такъ слабою силой можно раскачать тяжелый колоколъ, если позаботимся подталкивать его *въ-время*,—такъ чтобы каждый новый толчокъ *поощрялъ* уже зародившееся движеніе, а не гасилъ его.

Такимъ же *резонаторомъ*, откликающимся на опредѣленный тонъ, можетъ еще легче служить воздушная масса; но она гудитъ только въ то время, пока длится возбуждающій ее звукъ. Вооруживъ ухо однимъ изъ этихъ полыхъ шаровъ, имѣющихъ одно отверстіе, къ уху, другое наружу (*рис. 44, а*), я буду особенно чутокъ къ



собственному тону шара, и всякій разъ, какъ этотъ тонъ зазвучитъ гдѣ нибудь, отдѣльно или въ смѣси съ другими тонами,—я услышу его съ особенной силой, даже если онъ слабъ, даже если смѣсь очень сложная.

Здѣсь у меня коллекція такихъ *резонаторовъ Гельмгольца*, лежащихъ отдѣльно. Въ этомъ аппаратѣ (*рис. 45*) насажена подобная же коллекція резонаторовъ нѣсколько иной формы (*рис. 44, b*): удлиненная или укорачивая, я могу ихъ *настраивать*, т.-е. мѣнять нѣсколько ихъ собственные тоны. Такой аппаратъ послужитъ намъ *анализаторомъ* звуковъ и сдѣлаетъ этотъ анализъ видимымъ для глаза. Рукавъ *D* сообщенъ съ газопроводомъ и доставляетъ свѣтильный газъ въ камеры, отдѣленные отъ резонаторовъ тонкими упругими перепонками; изъ этихъ камеръ газъ выходитъ наружу сквозь тонкую трубочку, и здѣсь его зажигаютъ. Каждому резонатору приданъ теперь газовый огонекъ, на который дѣйствуетъ

звучная волна этого резонатора: огонекъ, въ ритмъ волны, то вытянется, то присядетъ, повторяя это съ каждымъ отдѣльнымъ

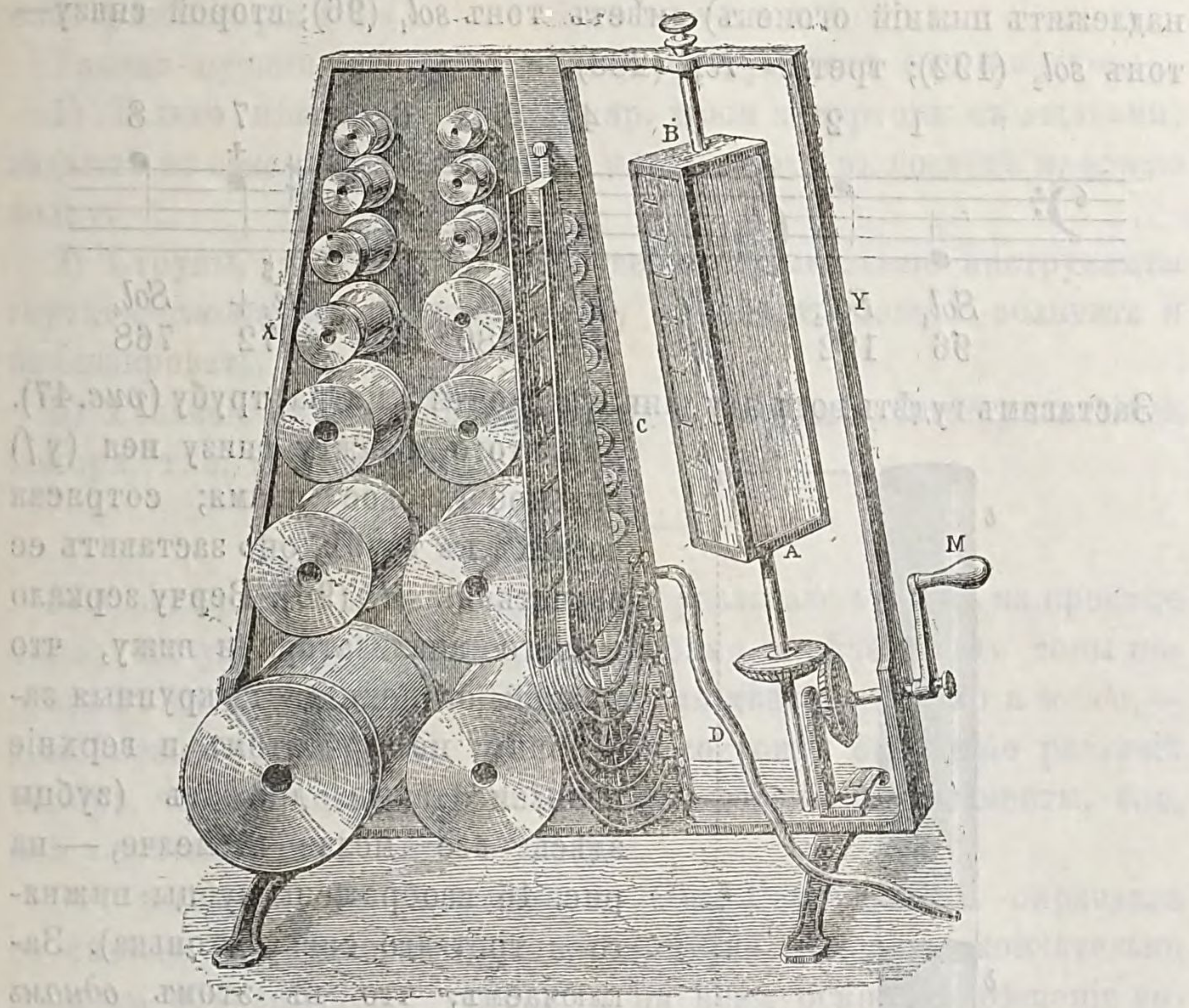


Рис. 45.

колебаниемъ воздуха. Вращая рукояткой *М* четырехгранное зеркало *АВ* снаряда, я вижу отраженіе огонька—въ видѣ прямой огненной ленты, если онъ не дрожитъ,—въ видѣ ленты зазубренной (рис. 46), если онъ возбужденъ звуною волной. Эти резона-

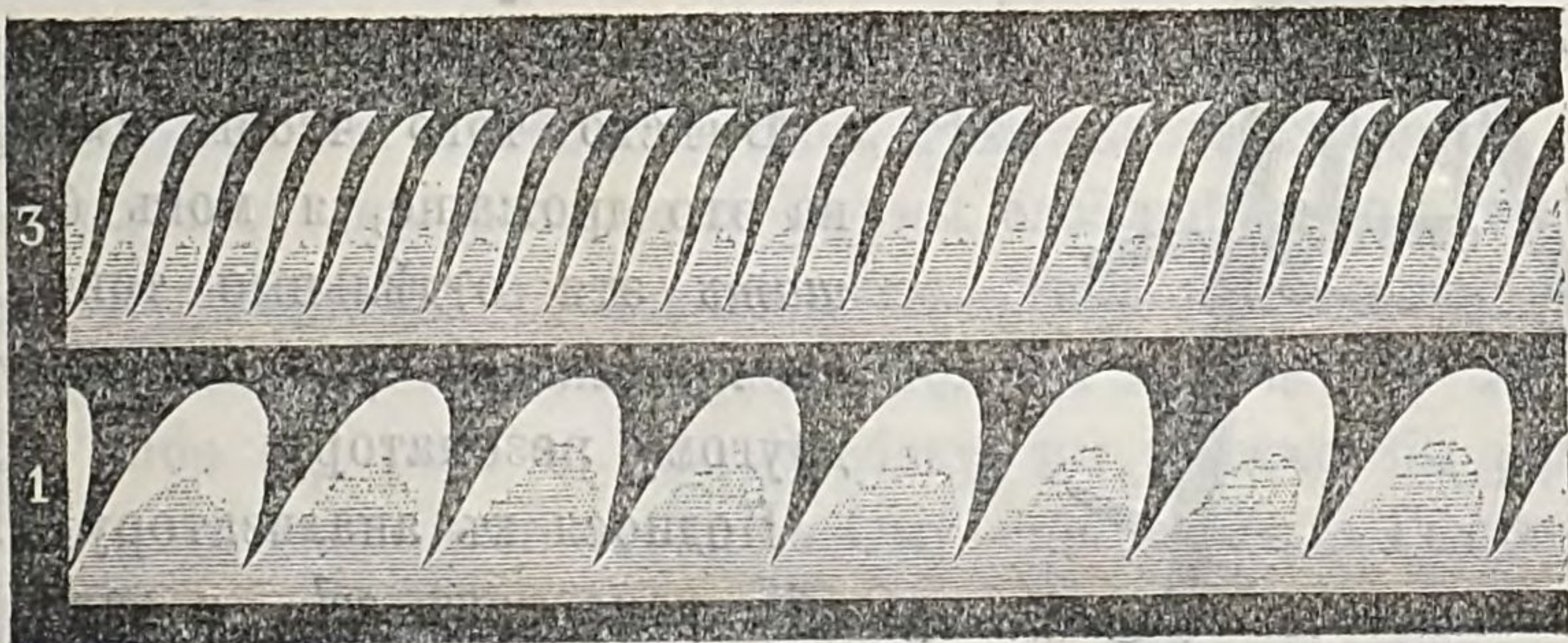
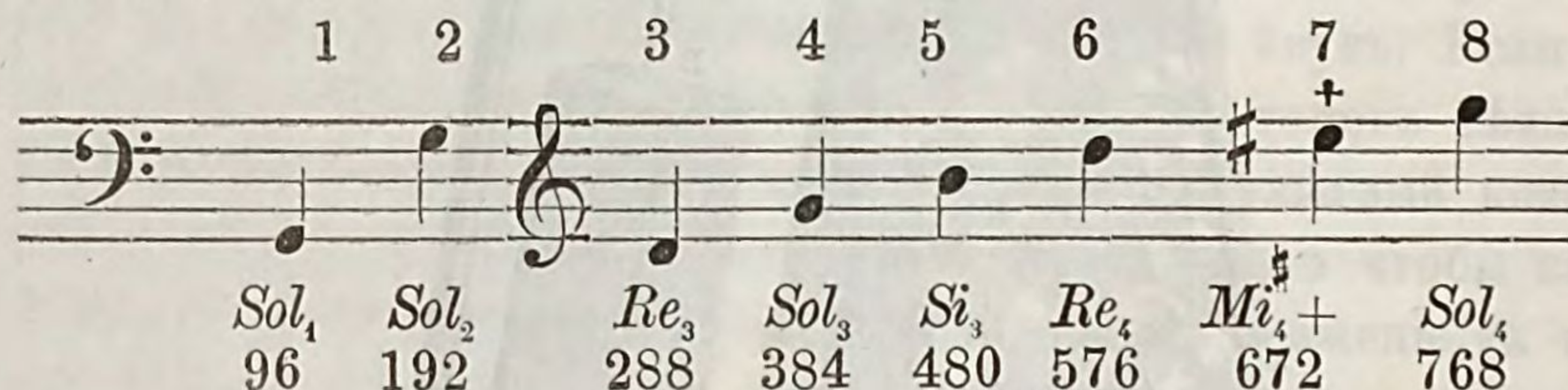


Рис. 46.

торы настроены теперь такъ, чтобъ откликаться на ноту sol_1 (96 качаній) и ея гармоническія: самый большой резонаторъ (ему принадлежитъ нижній огонекъ) имѣетъ тонъ sol_1 (96); второй снизу — тонъ sol_2 (192); третій — re_3 (288), и т. д.



Заставимъ гудѣть вотъ эту длинную (почти 2 метра) трубу (рис. 47).

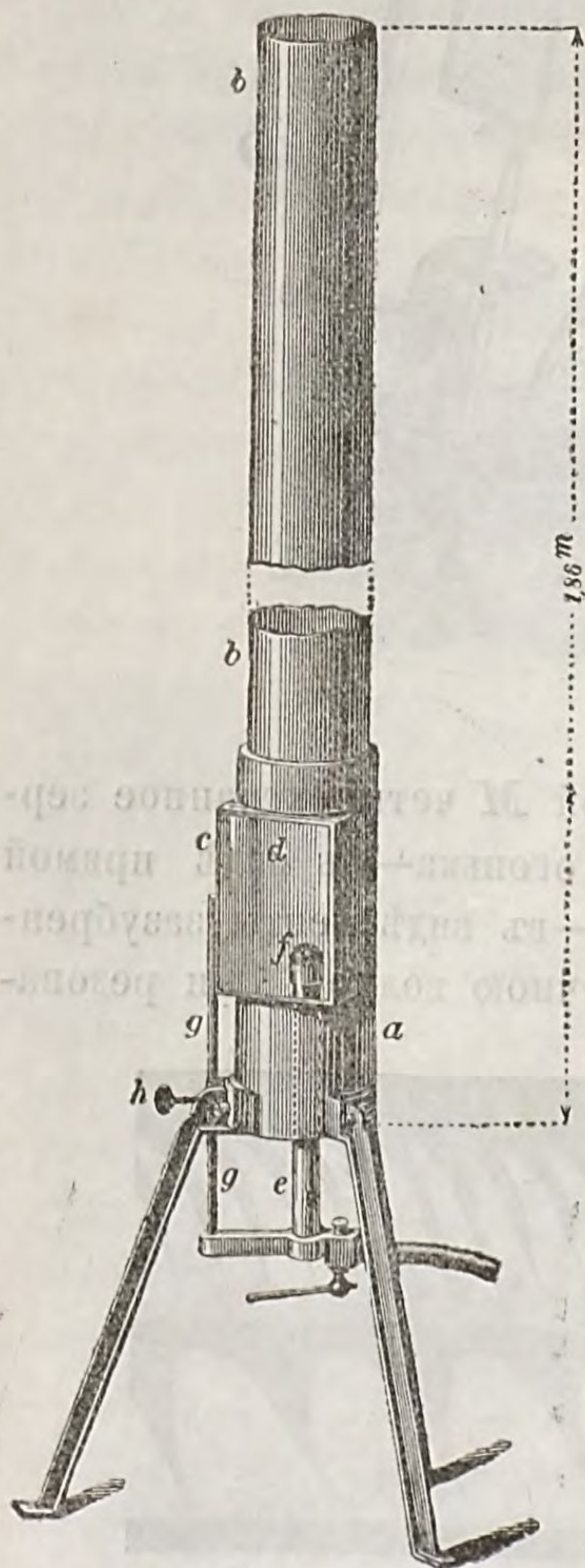


Рис. 47.

Для этого я зажгу внизу нея ($у f$) сильное газовое пламя; сотрясая воздухъ въ трубѣ, оно заставитъ ее звучать на sol_1 (96). Верчу зеркало нашего анализатора и вижу, что нижній огонекъ даетъ крупныя зазубрины; но при этомъ и верхніе огоньки также дрожатъ (зубцы здѣсь все мелче и мелче, — на рис. 46 изображены зубцы нижняго и третьяго снизу огонька). Заключаемъ, что въ этомъ *одномъ* (повидимому) звукѣ *одного* инструмента присутствуютъ *все* эти тоны — sol_1 , sol_2 , re_3 и т. д. Это — звукъ *сложный*, и мы узнаемъ его составъ. Стоитъ только разстроить одинъ изъ резонаторовъ — и онъ перестаетъ откликаться на трубу.

Вмѣсто того чтобы *смотреть* на это дрожаніе, я могъ бы *слышать* эти отдѣльные тоны, если бы приставилъ ухо къ тому или другому резонатору.

Поднося къ анализатору звучащій камертонъ sol_3 , я вижу, что дрожитъ только *одинъ* огонекъ:

здѣсь тонъ *простой*. Поднося камертонъ do_3 , я не вижу нигдѣ дрожащаго огонька: на этотъ тонъ въ снарядѣ нѣтъ сочувственнаго резонатора.

Такими путями мы приходимъ къ слѣдующимъ заключеніямъ:

1) Только нѣкоторыя тѣла (напр. наши камертоны съ ящиками) издають по *одному простому* тону и вызываютъ въ воздухѣ *простую* волну.

2) Струны, трубы и др. собственно-музыкальные инструменты звучатъ *сложными* звуками, и эту сложность можно обличить и анализировать.

3) Различіе въ составѣ звука всегда сопровождается различіемъ тембра, т.-е. формы волны.

Мы видимъ, что наши резонаторы разлагають звукъ на простые тоны; что ухо, вооруженное резонаторами, замѣчаетъ эти тоны порознь въ сложномъ звукѣ. Но не такъ ли дѣйствуетъ ухо и *всегда*, — даже невооруженное? Не въ томъ ли состоитъ ощущеніе различій тембра, что ощущаются одновременно *порознь* всѣ элементы, т.-е. всѣ простые тоны, даннаго звука?

Эту догадку высказалъ впервые Омъ. Гельмгольтцъ оправдалъ ее самыми разносторонними аргументами, рѣшилъ окончательно вопросъ объ ощущеніи тембра, и на немъ основалъ рѣшеніе вопроса о консонансѣ.

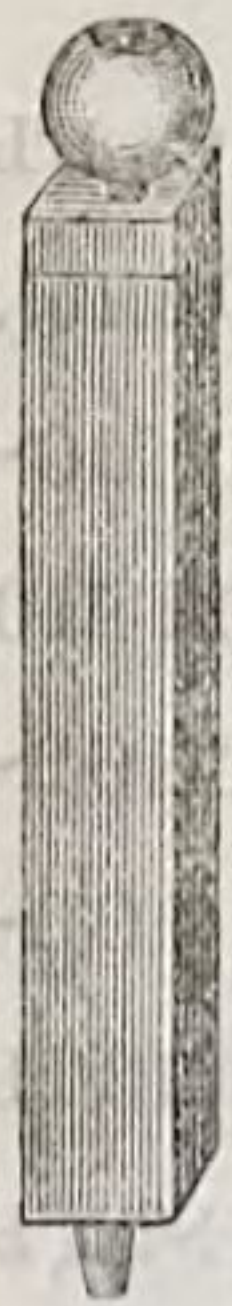
Въ 40-хъ годахъ вопросъ о тембрѣ особенно живо дебатировался. Зеебекъ полагалъ, что ухо непосредственно ощущаетъ *форму* волны; Омъ — что мы безсознательно *анализируемъ* волну на простыя волны и *каждый тонъ* слышимъ отдѣльно.

Это не просто споръ о словахъ. Я сказалъ, что различіе въ *составѣ звука* всегда сопровождается различіемъ въ *формѣ волны*. Но нельзя сказать наоборотъ. Изъ тѣхъ же двухъ волнъ мы можемъ получить двѣ различныя формы сложной волны, смотря по тому, какъ наложена одна на другую. Такъ изъ сложенія основной волны съ 1-й гармонической можетъ получиться либо форма (3), либо (4), *рис. 42*. По Зеебеку, мы *должны* бы различать эти два результата по тембру; по Ому — не должны. Гельмгольтцъ доказалъ, что правда на сторонѣ Ома.

Мы имѣемъ рядъ гармоническихъ камертоновъ на ноту do_2 , и можемъ изъ нихъ составлять подобіе сложныхъ звуковъ. Гельмгольтцъ дѣлалъ подобный *синтезъ тембровъ*; но для этой цѣли камертоны у него имѣли особыя приспособленія, чтобы звукъ держался безъ ослабленія, чтобы можно было сдѣлать его сильнѣе или слабѣе, и т. д. Такой аппаратъ далъ Гельмгольтцу возможность подражать тембрамъ органа, струнныхъ инструментовъ и человѣческаго голоса.

Въ *голосѣ* разница тембра, т.-е. состава звука, выражается иногда подъ особымъ видомъ — подъ видомъ разныхъ *гласныхъ буквъ*. Когда мы поемъ на *ту же ноту* буквы *у, о, а*, — къ тому же основному тону примѣшивается большее или меньшее число высокихъ тоновъ; этого мы достигаемъ, измѣняя форму полости рта, которая смотря по этому, является резонаторомъ то для тѣхъ, то для другихъ тоновъ, и ихъ усиливаетъ. Своимъ снарядомъ, состоящимъ изъ гармоническихъ камертоновъ, Гельмгольтцъ подражалъ гласнымъ буквамъ: смѣсь тоновъ звучала то на *у*, то на *о*, на *а*, и т. д. Я не могу показать этого аппарата, но укажу на два простые опыта.

Открывши крышку рояля и поднявъ демферъ (прижавъ педаль), я попрошу одного изъ нашихъ студентовъ-пѣвцовъ пропѣть надъ струнами звуки: *у, о, а*. Каждый разъ инструментъ откликается *тою же буквой*. Откликается не дерево, а *струны*: при опущенномъ демферѣ, когда струны заглушены, отголоска нѣтъ. Въ чемъ дѣло? — Каждая гласная сотрясаетъ извѣстное число струнъ, совмѣстное звучаніе которыхъ и даетъ звукъ этой гласной. Это — тоже способъ анализа: запримѣтивъ, какія именно струны резонируютъ, я заключилъ бы о томъ, какіе тоны содержатся въ пропѣтой гласной.



Другой опытъ дастъ мнѣ трубка (рис. 48), снабженная шаровиднымъ придаткомъ, который, какъ полость рта при пѣніи, я могу больше или меньше прикрывать. Съ полнымъ отверстіемъ я имѣю звукъ въ родѣ *а*; закрывъ наполовину, получу *о*; закрывъ почти совсѣмъ, имѣю *у*. Смотра по свойству резонатора, усиливаются тѣ или другіе изъ тоновъ трубы: это-то и нужно для переменны гласной.

Рис. 48. Мы пришли къ выводу, что ухо способно анализировать

звукъ на простыя ноты. Но какимъ образомъ можетъ происходить такой анализъ? Нѣтъ ли въ ухѣ такого *анализатора*, какимъ является нашъ аппаратъ съ огоньками, или нашъ рояль,—т.-е. нѣтъ ли въ ухѣ *коллекции резонаторовъ*, способныхъ порознь откликаться (дрожать) на различныя ноты? Допустимъ, что это такъ,—что въ ухѣ, въ микроскопическихъ размѣрахъ, есть такія отдѣльныя части; что каждая отдѣльно передаетъ свое раздраженіе одному изъ концовъ слуховаго нерва: мы тогда поймемъ возможность этого анализа. Но придется допустить, что такихъ отдѣльныхъ частей—назовемъ ихъ условно, для краткости, «*слуховыми струнками*»—въ ухѣ имѣется нѣсколько тысячъ. Похоже ли это на правду?—Напомнимъ въ двухъ словахъ строеніе уха. Войдя въ наружный слуховой каналъ *D* (рис. 49), звуковая волна сотрясаетъ дно его—барабанную

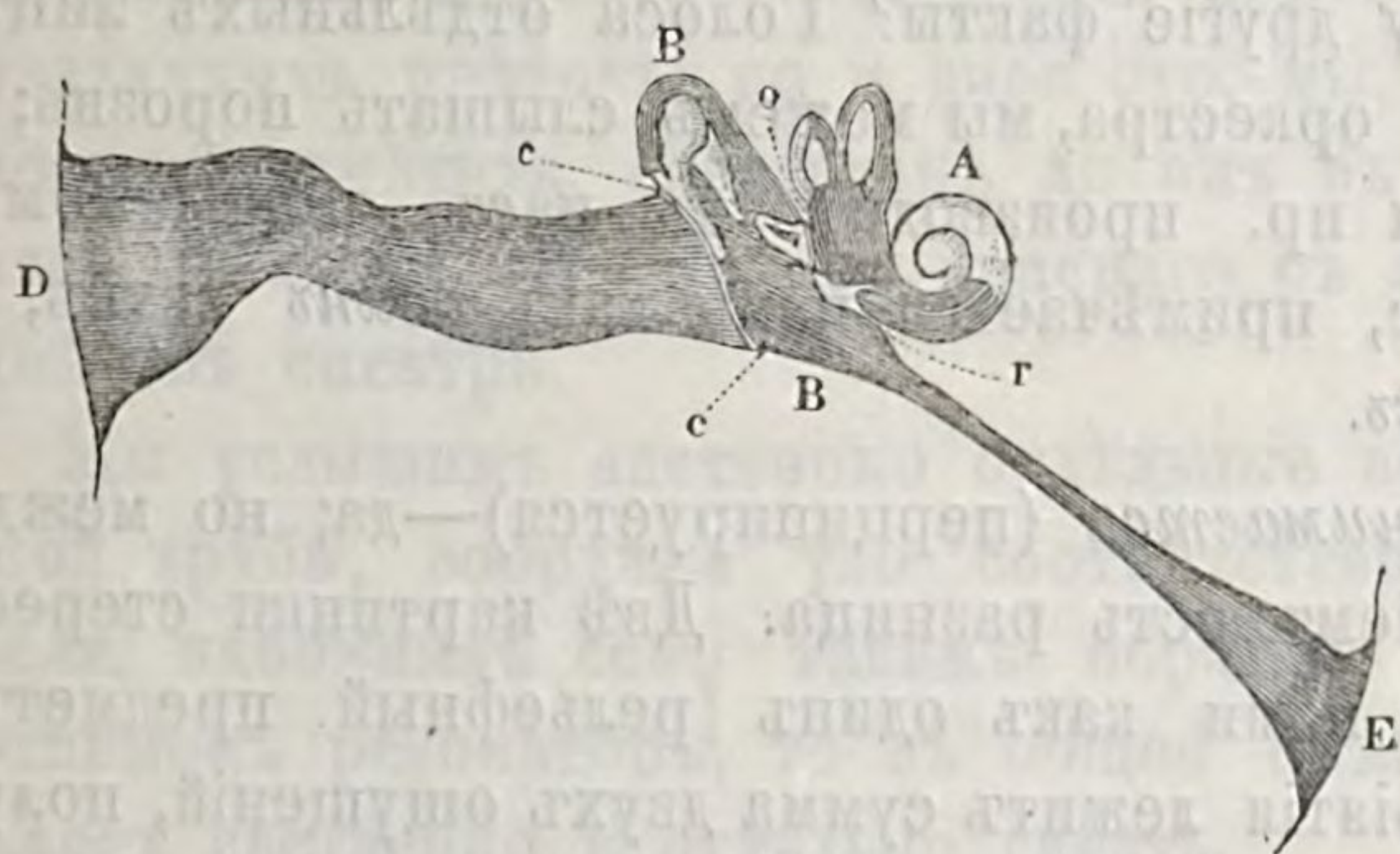


Рис. 49.

перепонку *сс*. Дрожанія этой перепонки, чрезъ посредство слуховыхъ косточекъ, передаются жидкости и твердымъ частямъ внутренняго уха, *лабиринта*, гдѣ разстилаются окончанія слуховаго нерва. Въ такъ - называемой

улиткѣ *A* нервъ даетъ множество вѣтвей вдоль спиральной перепонки, которая своимъ волокнистымъ строеніемъ и своими придатками (Кортиевы волокна) дѣйствительно напоминаетъ ту арфу, или то піанино, какое требуется для анализа звука. На рис. 50 вы-

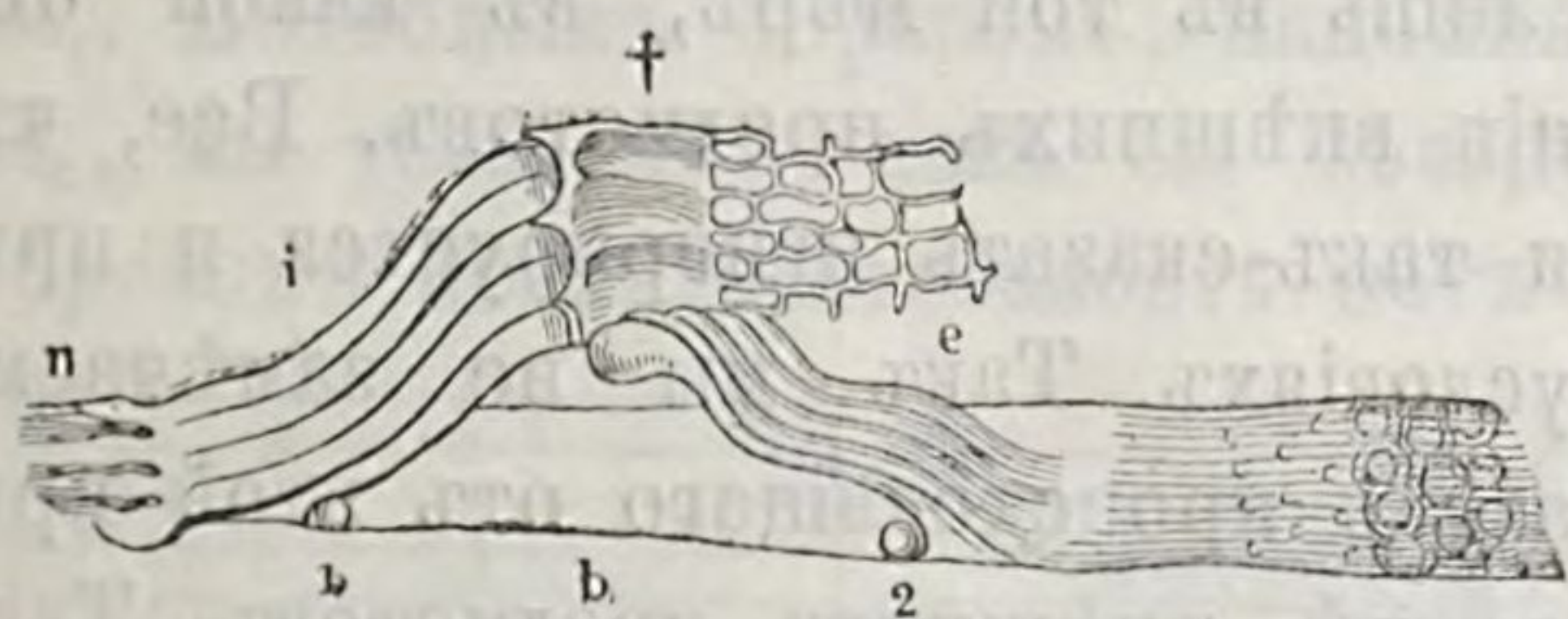


Рис. 50.

дѣлена поперечная полоска *b* этой перепонки съ прилегающими къ ней волокнами Корти (*i, e*); *n*—окончанія нерва. Эти-то волокна Корти, а также волокна той перепонки, по которой

они размѣщены, по мнѣнію Гельмгольца, служатъ для анализа звука, они-то играютъ роль «слуховыхъ струнъ». Число этихъ эле-

ментовъ дѣйствительно достаточно для анализа слышимыхъ нами звуковъ. Такимъ образомъ мысль о сходствѣ уха съ нашими искусственными анализаторами звуковъ подтверждается и анатоміей органа.

Эта мысль, какъ замѣчаетъ самъ Гельмгольтцъ, есть дальнѣйшій шагъ въ развитіи ученія І. Мюллера о *специфическихъ энергіяхъ нервовъ*. Какъ слуховой нервъ ощущаетъ *только* звукъ, зрительный только свѣтъ,—такъ извѣстный конецъ слуховаго нерва ощущаетъ *только* опредѣленный тонъ, приносимый ему особымъ воспріемникомъ, способнымъ дрожать въ этотъ тонъ. Подобное оказывается и для глаза по отношенію къ цвѣтамъ, хотя съ нѣкоторыми особенностями.

Но если есть поводы признать ухо анализаторомъ звуковъ, не противорѣчатъ ли этому другіе факты? Голоса отдѣльныхъ лицъ, отдѣльные инструменты оркестра, мы можемъ слышать порознь; а звукъ струны, трубы и пр. производить въ насъ, повидимому, одно цѣльное ощущеніе, примѣчается нами какъ *одинъ* звукъ, а не какъ аккордъ *многихъ*.

Примѣчается, воспринимается (перципируется)—да; но между воспріятіемъ и ощущеніемъ есть разница. Двѣ картинки стереоскопа воспринимаются нами какъ одинъ рельефный предметъ; а въ основѣ этого воспріятія лежитъ сумма двухъ ощущеній, полученныхъ каждымъ глазомъ отъ соотвѣтственной картинки. До изобрѣтенія стереоскопа и не знали, что рельефность мы замѣчаемъ благодаря двумъ слегка различнымъ ощущеніямъ, которыя одновременно вызываются предметомъ въ правомъ и лѣвомъ глазу.

Это—общій законъ воспріятій (перцепцій), что мы обращаемъ вниманіе на наши ощущенія лишь въ той мѣрѣ, въ какой они служатъ намъ для распознаванія внѣшнихъ предметовъ. Все, что не нужно для этой цѣли, нами такъ-сказать игнорируется и примѣчается лишь при особыхъ условіяхъ. Такъ мы не замѣчаемъ слѣпаго пятна въ нашемъ глазу и происходящаго отъ этой причины пробѣла въ видимой картинѣ внѣшнихъ предметовъ. Такъ мы не замѣчаемъ, что всю жизнь видимъ вдвойнѣ всѣ предметы, кромѣ того пункта, на который въ данный моментъ устремленъ

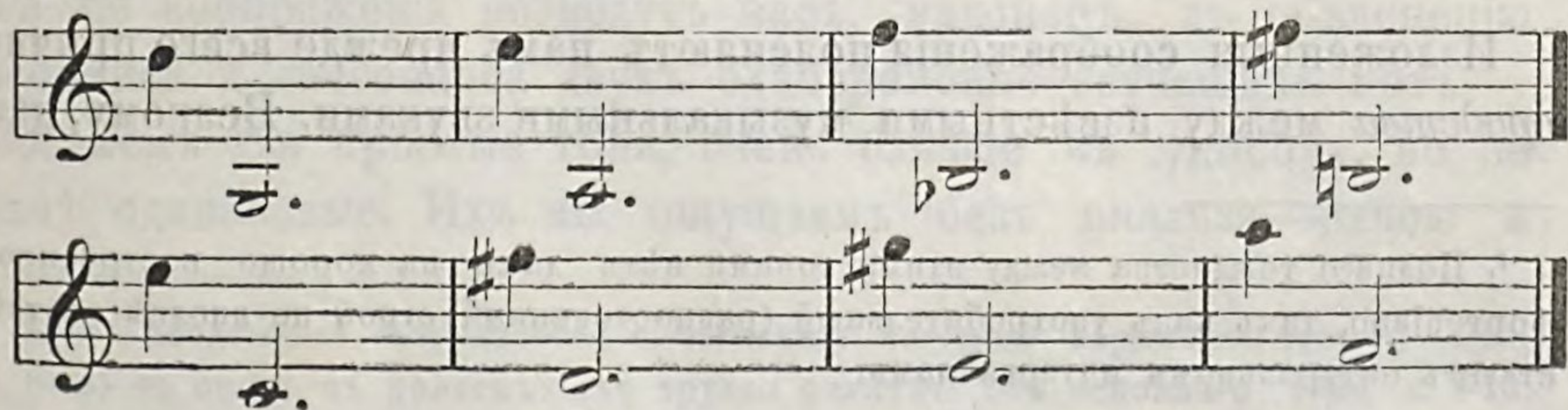
нашъ взоръ, и тѣхъ, которые входятъ въ составъ такъ-называемаго гороптера.

Тонъ струны является намъ всегда съ придаткомъ верхнихъ тоновъ; звукъ флейты, звукъ голоса даетъ намъ другую привычную комбинацію тоновъ, другой аккордъ. Для распознаванія объективнаго источника этихъ звуковъ намъ нѣтъ нужды разлагать каждое изъ этихъ явленій, примѣчать каждое элементарное ощущеніе порознь; такой анализъ намъ даже мѣшалъ бы—и мы читаемъ эти звуки сразу, какъ читаемъ слово въ книгѣ, не вникая въ детали каждой буквы. Но при желаніи и при усилии вниманія мы можемъ отрѣшиться отъ этой привычки и выдѣлить въ перцепціи то, что существуетъ отдѣльно въ ощущеніи.

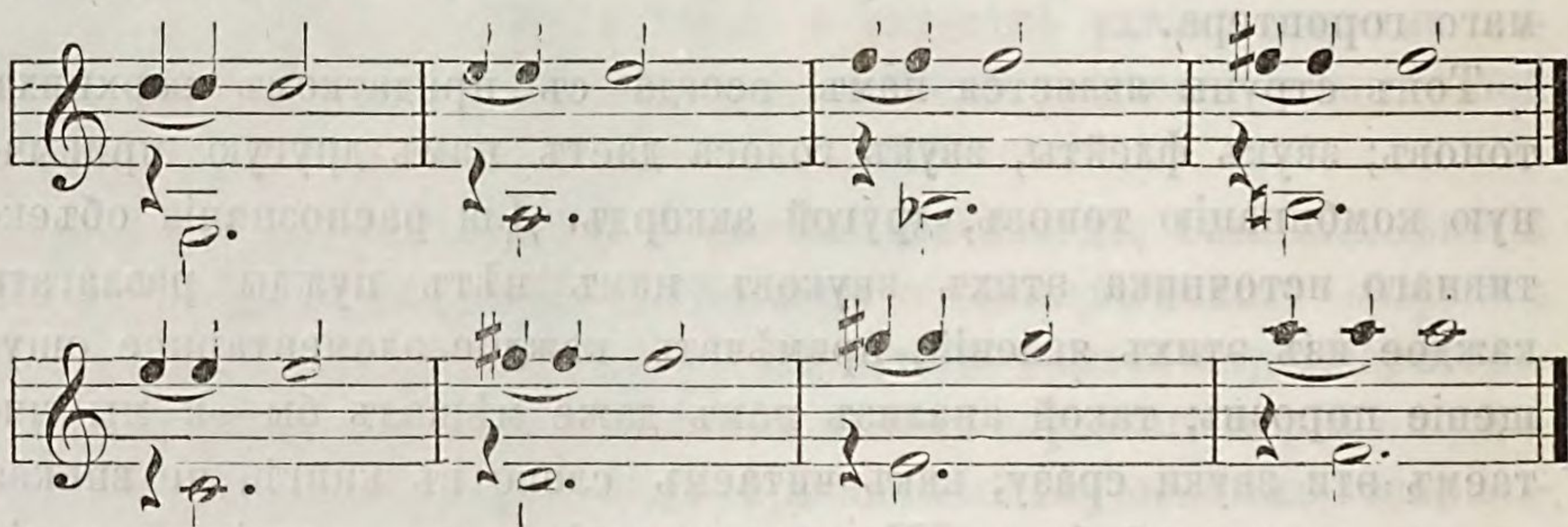
Замѣтимъ, что ухо относится къ тонамъ не такъ, какъ глазъ къ цвѣтамъ. Извѣстно, что бѣлый цвѣтъ можно составлять изъ различныхъ цвѣтовъ; но и зная это, мы, при всемъ вниманіи, не можемъ замѣтить, составленъ ли онъ въ данномъ случаѣ изъ синяго съ желтымъ, или изъ краснаго съ зеленымъ, или изъ всѣхъ цвѣтовъ спектра.

Мы услышимъ явственно отдѣльные верхніе тоны нашей большой трубы, вооружая ухо соотвѣтственными резонаторами. Но если, напомнивъ себѣ такимъ образомъ характеръ этого тона, отнимемъ резонаторъ, то въ общей смѣси тоновъ этотъ продолжаетъ явственно и отдѣльно гудѣть.

Подобнымъ образомъ легко приучить себя распознавать верхніе тоны въ звукахъ фортепіано. Возьмемъ do_3 ,—въ немъ звучать непременно и do_4 , и sol_4 , и do_5 , и mi_5 . Если [напомнимъ себѣ sol_4 соотвѣтственнымъ клавишемъ, а потомъ возьмемъ do_3 , то замѣтимъ къ концу звучанія какъ бы переходъ въ прежнюю ноту sol_4 . Подобнымъ образомъ, напоминая себѣ mi_5 и потомъ взявъ do_3 , мы услышимъ какъ бы возвращеніе къ тону mi_5 . Такимъ образомъ послѣдовательность нотъ



производить впечатлѣніе почти такое:



Что эти верхнія ноты, слышимыя послѣ нижней (третьи ноты каждаго такта), не простая иллюзія,—въ этомъ убѣдимся, если дѣйствительно возьмемъ третью ноту ударомъ клавиша, продолжая держать вторую (нижнюю): вслѣдствіе неполнаго тождества между новымъ звукомъ и верхнимъ тономъ прежней ноты, музыкальное ухо услышитъ между ними *біенія* или *дрожанія* (о которыхъ будетъ рѣчь далѣе). ¹⁾

Подобные опыты требуютъ нѣкоторой практики; но если ухо приучено, верхнія ноты будутъ слышаться и безъ особаго напоминанія ихъ ударомъ клавиша.

Струны скрипки особенно богаты верхними тонами (до 15-ти), которые придаютъ звуку острый тембръ. Въ открытыхъ трубахъ органа слышатся первые два изъ верхнихъ тоновъ (октава и дуо-децима); при сильномъ вдуваніи они могутъ даже преобладать. Въ закрытыхъ трубахъ получаютъ только нечетные тоны (1-й или основной, 3-й, 5-й).

Простые тоны, какіе мы имѣли отъ нашихъ камертоновъ, не употребляются въ музыкѣ: они также прѣсны и безвкусны, какъ химически-чистая вода,—они безхарактерны. Смысль этого замѣчанія намъ сейчасъ выяснится.

Изложенныя соображенія поясняютъ намъ прежде всего причину *сродства* между извѣстными музыкальными звуками. Всякому, даже

¹⁾ Полнаго тождества между этими тонами нѣтъ даже на хорошо настроенномъ фортепіано, такъ какъ употребительный (равностепенный) строй не вполне соответствуетъ натуральнымъ интервалламъ.

немузыкальному уху замѣтно какое-то сходство между какой-либо нотой и верхней *октавой* этой ноты ¹⁾. Мы теперь легко поймемъ, въ чемъ дѣло: разъ это звуки сложные, октава является *повтореніемъ* части того, что было въ прежнемъ звукѣ. Подобнымъ образомъ *квинта*, хотя въ болѣе слабой степени, является повтореніемъ или воспоминаніемъ основной ноты: ея 2-й тонъ есть повтореніе прежняго 3-го, 4-й повтореніе 6-го, и т. д. Въ *квартѣ* 3-й тонъ есть повтореніе прежняго 4-го, и т. д. Это видно изъ слѣдующихъ табличекъ, дающихъ числа колебаній основныхъ тоновъ и верхнихъ до 6-го:

Октава.		Квинта.		Кварта.	
do_3	do_4	do_3	sol_3	do_3	fa_3
1. 256	512	256	384	256	341,3
2. 512	1024	512	768	512	682,7
3. 768	1536	768	1152	768	1024
4. 1024	2048	1024	1536	1024	1365,3
5. 1280	2660	1280	1920	1280	1706,7
6. 1536	3072	1536	2304	1536	2048

Приписывая ощущеніе каждаго простаго тона особой «слуховой стрункѣ», мы должны признать, что одна и та же «струнка» поражается и тою и другою нотою каждой пары: въ этомъ и состоитъ сродство двухъ звуковъ. Степень этого сродства различна, смотря по числу общихъ тоновъ и по ихъ важности въ общемъ комплексѣ (т.-е. по ихъ силѣ): обыкновенно, чѣмъ выше по счету эти тоны, тѣмъ они слабѣе, и тѣмъ слабѣе впечатлѣніе сродства, ими обусловливаемое.

Тѣ же соображенія подведутъ насъ, наконецъ, къ объясненію консонанса и диссонанса двухъ одновременно звучащихъ нотъ.

Возьмемъ два простые тона, очень близкіе къ унисону, но не вполне одинаковые. Ихъ мы ощущаемъ безъ анализа—одною и

¹⁾ Этимъ сходствомъ затрудняется отыскиваніе *четныхъ* верхнихъ тоновъ (2-го, 4-го, 6-го) въ опытѣ съ роялемъ: ихъ трудно отличить отъ основнаго тона и 3-го.



тою же «слуховою стрункой»: прочія «струнки» слишкомъ далеки отъ унисона, чтобы приходить въ сотрясеніе. Но звучащая волна, порождаемая двумя близкими тонами въ воздухѣ, будетъ имѣть характеръ прерывистый: одинъ звукъ, такъ-сказать, перебивается другимъ, то подкрѣпляясь, то ослабѣвая. Такой же прерывистый характеръ получить и дрожаніе «слуховой струнки». Примѣняя знакомое намъ правило наложенія волнъ, мы легко придемъ къ этому результату. Такъ, напримѣръ, для двухъ волнъ съ числами колебаній, относящимися какъ 25 : 24 или какъ 81 : 80, формы сложной волны получатся въ такомъ видѣ (рис. 51):

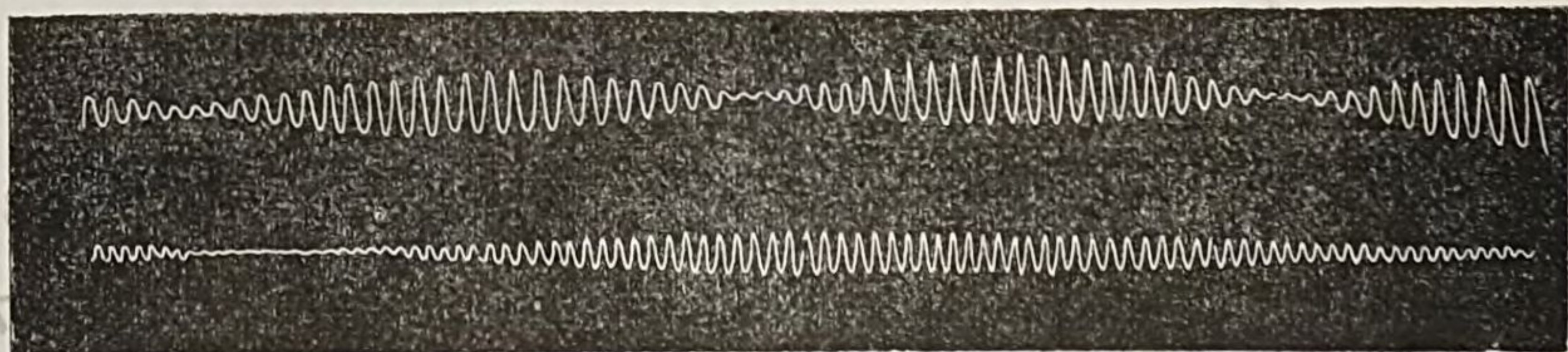


Рис. 51.

Это—волна, то усиливающаяся, то гаснущая,—волна съ біеніями. Эти усиленія и погасанія, эти біенія повторяются столько разъ въ секунду, какова разность въ числахъ колебаній двухъ звуковъ (въ нашихъ примѣрахъ по одному разу).

Приведа въ звучаніе два камертона строго-унисонные, мы слышимъ ровный звукъ безъ біеній. Замѣняя одинъ изъ нихъ другимъ, дающимъ на 4 качанія въ секунду больше: слышу перерывы или біенія, по 4 въ секунду. Беру камертонъ еще на 4 качанія выше: слышатся біенія болѣе частыя (по 8-ми въ секунду). То же самое можемъ еще удобнѣе получить на трубахъ. У меня имѣются двѣ открытыя трубы (рис. 52), которыя вверху снабжены боковыми отверстіями и задвижками. Закрывъ боковыя отверстія и заставляя трубы звучать, я слышу ровный звукъ (строгій унисонъ); подвигая внизъ задвижку одной трубы, такъ что отверстіе чуть-чуть открылось (этимъ я какъ бы укоротилъ трубу), слышу медленные біенія; продолжаю расширять отверстіе, они становятся чаще и чаще.

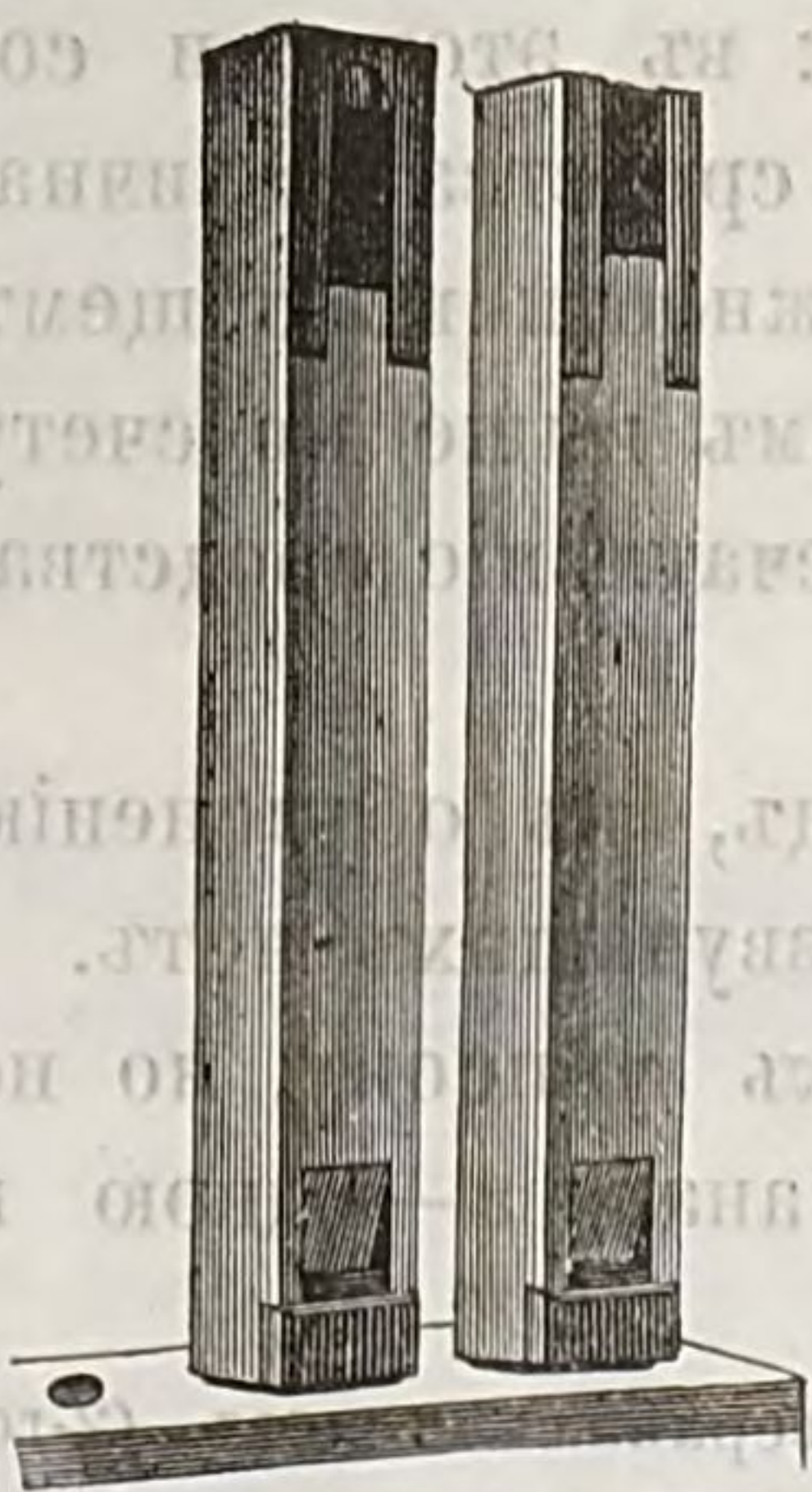


Рис. 52.

Теперь, наконецъ, ихъ трудно считать или различать; но присутствіе біеній въ большемъ числѣ даетъ звуку какую-то шероховатость: мы перешли изъ консанса въ *диссонансъ*.

Пока біенія были рѣдки—2, 3, 4 въ секунду—неровность звука не мѣшала ясности ощущенія. Но когда они слишкомъ часты, мы слышимъ несвязные отрывки тона, теряется ясное представленіе о свойствѣ звука, наступаетъ смутное чувство безпокойства—мы говоримъ, что звуки диссонируютъ. Ощущающая ихъ «слуховая струнка» и связанное съ нею нервное окончаніе получаютъ теперь *быстро-прерывистое раздраженіе*.

Всякое *прерывистое* раздраженіе нерва дѣйствуетъ сильнѣе, чѣмъ постоянное раздраженіе стимуломъ такой же силы. При постоянномъ раздраженіи нервъ вскорѣ «притупляется», становится менѣе чувствительнымъ. Но въ случаѣ перерывовъ чувствительность его успѣваетъ восстанавливаться, благодаря притоку свѣжей крови, и новое раздраженіе дѣйствуетъ съ новой силой. При достаточномъ учащеніи перерывовъ ощущеніе становится сильнымъ до болѣзненности. Но при слишкомъ большемъ учащеніи перерывы, понятно, становятся недѣйствительными.

Мы знаемъ, какъ непріятенъ быстро мерцающій свѣтъ; знаемъ, что царапанье кожи ногтемъ гораздо больнѣе, чѣмъ постоянное давленіе въ одномъ мѣстѣ; знаемъ, что быстро-перемѣнные электрическіе токи сильнѣе дѣйствуютъ на организмъ, чѣмъ токи постоянные. Вездѣ повторяется одинъ и тотъ же законъ.

Понятно, что и быстро бьющіеся, т.-е. диссонирующіе тоны, *терзаютъ* чувствительное волокно нерва. Какое именно число біеній дѣйствуетъ всего болѣзненнѣе, это зависитъ отъ воспріимчивости данной «слуховой струнки» къ сосѣднимъ тонамъ, отъ быстроты восстановления чувствительности нерва, и т. д. Но во всякомъ случаѣ ясно, что когда тоны достаточно разошлись между собою, они будутъ ощущаться уже *различными* «струнками», и терзанія не будетъ, ибо каждый тонъ дѣйствуетъ на *особый* пріемникъ, и прерывистому раздраженію нѣтъ мѣста. Опытъ показываетъ, что въ среднихъ октавахъ всего мучительнѣе числа біеній близкія къ 33 (въ секунду), и что при числѣ болѣе 130 ощущеніе біеній исчезаетъ. Это число 33 соотвѣтствуетъ приблизительно интерваллу «большаго полутона» въ сосѣдствѣ нормальнаго la ,

(435 качаній). Въ нижнихъ октавахъ то же число 33 соотвѣтствуетъ большому интерваллу, въ верхнихъ—меньшему. Потому наибольшій диссонансъ получается, смотря по высотѣ двухъ звуковъ, при различныхъ интерваллахъ: въ нижнихъ октавахъ малая и большая терція еще даютъ, при чистомъ строѣ, сильную неровность или шероховатость; въ верхнихъ октавахъ (около do_6) самый рѣзкій диссонансъ даетъ $\frac{1}{10}$ полутона.

Такимъ образомъ, насколько рѣчь идетъ о *простыхъ тонахъ*, диссонансъ является слѣдствіемъ достаточно частыхъ (но не слишкомъ частыхъ) біеній, причемъ одинъ и тотъ же элементъ уха, отзываясь на оба близкіе тона, подвергается прерывистому, мерцающему раздраженію. Физиологическая причина непріятности здѣсь та же, какъ и въ соотвѣтственныхъ случаяхъ изъ области другихъ чувствъ.

Но мы говорили здѣсь о двухъ *близкихъ* тонахъ, и если бы всѣ звуки были простыми, нельзя было бы ожидать диссонанса въ случаѣ двухъ *отдаленныхъ* нотъ, диссонанса при большомъ интерваллѣ. Возьмемъ, на примѣръ, do_3 (256) и do_4 (512). Разность чиселъ качаній здѣсь далеко выше 130; оба тона, конечно, воспріимлются различными «струнками» уха; такъ будетъ и въ томъ случаѣ, если нѣсколько измѣнимъ одно изъ этихъ чиселъ, т.-е. разстроимъ интерваллъ. Почему же фальшь въ октавѣ слышится какъ диссонансъ?

Здѣсь-то придется вспомнить о *сложности* музыкальных звуковъ. Диссонансы простыхъ тоновъ, при большомъ интерваллѣ, дѣйствительно мало замѣтны; но звуки инструментовъ, употребляемыхъ въ музыкѣ, суть звуки *сложные*.

Когда на скрипкѣ, роялѣ, органѣ и т. п. беремъ, на примѣръ, $do_3 = 256$ и *вырную* октаву $do_4 = 512$, то эти тоны являются въ сопровожденіи верхнихъ гармоническихъ (см. таблицку на стр. 97): мы имѣемъ два аккорда, и такъ какъ числа біеній для любой пары тоновъ слишкомъ велики, эти аккорды будутъ звучать безъ помѣхи, безъ перебоя. Но если испортимъ октаву, на примѣръ, понизивъ do_4 на малый полутонъ, то явятся пары тоновъ съ числами біеній 20, 41 и пр. Точно также, повысивъ квинту на малый полутонъ, введемъ біенія въ числѣ 32, 64, 80:

	do_3	do_4^b		do_3	$sol_3^\sharp$
1.	256	491,52		256	400
2.	512	983,04	20,48	512	800
3.	768	1474,56	40,93	768	1200
4.	1024	1966,08		1024	1600
5.	1280	2457,60	61,44	1280	2000
6.	1536	2949,12		1536	2400

Такимъ образомъ диссонансъ въ большихъ интервалахъ объясняется біеніями верхнихъ гармоническихъ тоновъ.

Эти біенія верхнихъ тоновъ, обыкновенно не примѣчаемыя, выступаютъ съ поразительной ясностью, если воспользуемся мощнымъ звукомъ нашего снаряда, возбуждаемаго газомъ (рис. 47). На этотъ разъ я ставлю надъ пламенемъ болѣе короткую трубу, такъ что звучитъ приблизительно do_2 , не вполне однако унисонное съ нашимъ большимъ камертономъ. Заставляя звучать оба снаряда, я слышу перебой звука: теперь бьется основной тонъ трубы съ (единственнымъ) тономъ камертона, и это явленіе уже намъ знакомо. Но вотъ я звучу камертономъ do_3 — біенія опять слышны, они стали вдвое чаще: на сей разъ бьется do_3 камертона со вторымъ тономъ трубы. Беру камертонъ sol_3 — біенія опять слышны и стали еще чаще: въ нихъ участвуетъ третій тонъ трубы. И т. д. Звукъ камертона сравнительно слабъ и заглушается трубою, но онъ достаточенъ, чтобы превратить ровный звукъ трубы въ звукъ прерывистый. Эта форма опыта даетъ едва ли не самое яркое доказательство существованія верхнихъ тоновъ.

Зная составъ двухъ нотъ, можно обсудить *a priori*, насколько онѣ будутъ консонировать. Надо написать рядъ тоновъ для каждой, отыскать пары близкихъ тоновъ въ двухъ рядахъ; число біеній въ каждой такой парѣ (оно всегда равно разности чиселъ колебаній) будетъ давать элементъ для диссонанса, если оно не слишкомъ мало и не слишкомъ велико. Если такихъ бьющихся тоновъ

много, если они сильны, и если числа біеній не очень далеки отъ 33, диссонансъ будетъ рѣзкій.

Подобный расчетъ сдѣланъ Гельмгольтцомъ, на примѣръ, для струнъ скрипки. Пусть имѣется нота do_3 и другая, которая отъ унисона возвышается постепенно до октавы (do_4). Разныя точки горизонтальной строки (рис. 53) пусть соотвѣтствуютъ разнымъ

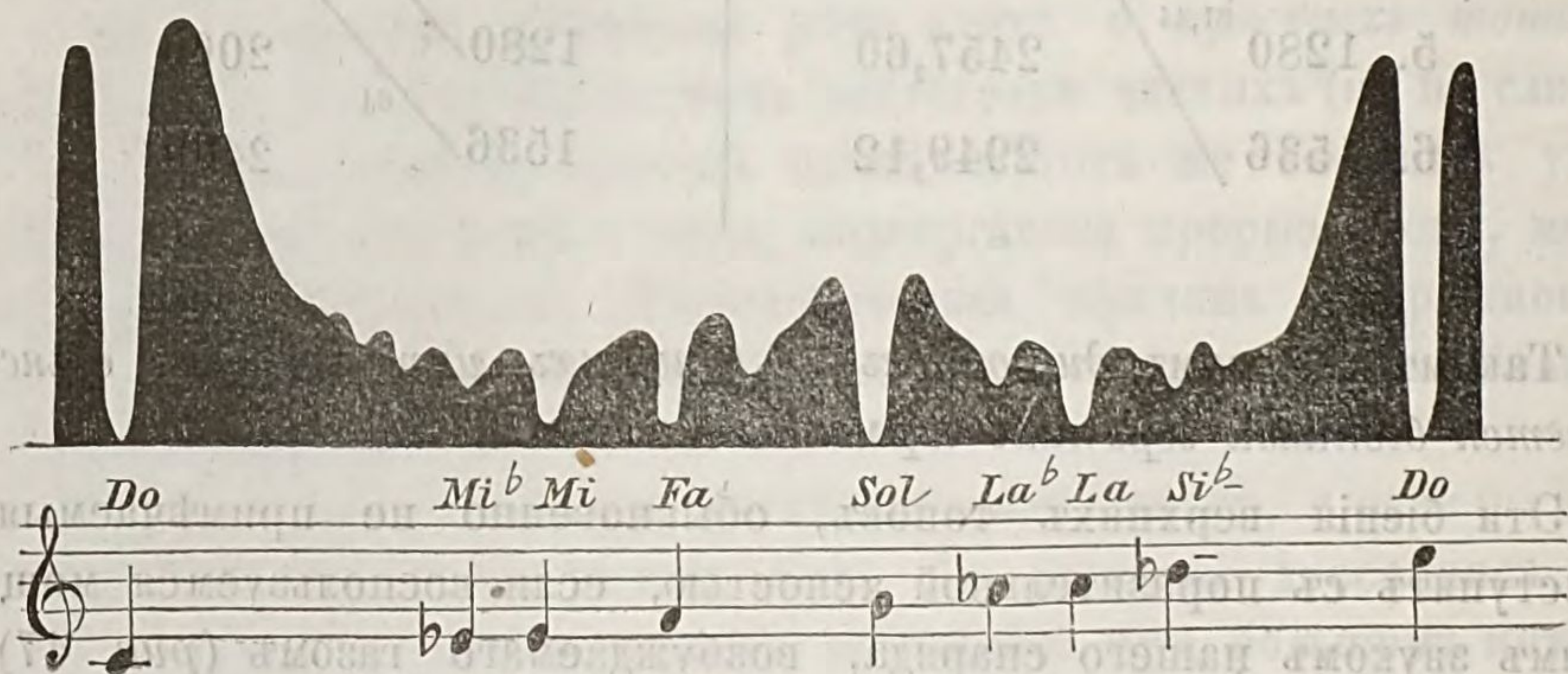


Рис. 53.

высотамъ второй ноты. Степень неровности, зависящая отъ біеній, пусть отмѣчается высотой перпендикуляра, поставленнаго надъ этимъ мѣстомъ. Получается кривая линія, которая образуетъ подъемъ тамъ, гдѣ неровность звучанія велика, долину—гдѣ біенія исчезаютъ. Мы видимъ, что унисонъ и октава лежатъ въ глубокихъ ущельяхъ, окружены крутыми утесами: малѣйшее отступленіе отъ вѣрнаго интервала будетъ ощущаться какъ диссонансъ. Почти такъ же низко углублена чистая квинта, хотя здѣсь берега долины уже не такъ круты и высоки. Вообще, всѣ долины образовались именно тамъ, гдѣ музыкальное ухо находитъ консонансъ, и чѣмъ глубже долина, чѣмъ круче подъемы вокругъ, тѣмъ консонансъ полнѣе, а малѣйшая фальшь въ интервалѣ чувствительнѣе.

Одинъ взглядъ на этотъ теоретическій чертежъ убѣждаетъ, что точка зрѣнія Гельмгольца приводитъ къ заключеніямъ, совершенно совпадающимъ съ музыкальной практикой.

Нужно прибавить еще только два замѣчанія. Во-первыхъ, мы не все еще приняли въ расчетъ. Если звучать два тона, и при-

томъ сильно, то ими порождаются новые тоны,—такъ-называемые *комбинаціонные*,—съ числами колебаній, равными *суммѣ* и *разности* чиселъ колебаній двухъ нотъ. Напримѣръ, отъ do_3 (256) и sol_3 (384) рождаются do_2 (128) и mi_4 (640). *Разностные* тоны были открыты музыкантами Зорге и Тартини, а *суммовые*—самимъ Гельмгольтцомъ. При полной оцѣнкѣ консонанса по біеніямъ, надо и эти ноты брать въ соображеніе. Отдѣльно и явственно слышать разностные тоны легко, суммовые трудно. Заставивъ звучать трубу sol_3 , я потомъ прибавляю звукъ трубы do_4 ,—и одновременно съ ея высокимъ тономъ загудѣлъ какой-то болѣе низкій, котораго не содержится ни въ томъ ни въ другомъ звукѣ, когда они звучатъ порознь: это комбинаціонный тонъ ($do_2 = 128$).

Прежде суммовыхъ тоновъ не знали, а разностные считались результатомъ біеній. Гельмгольтцъ далъ имъ новое объясненіе, обнаруживъ несостоятельность прежняго взгляда.

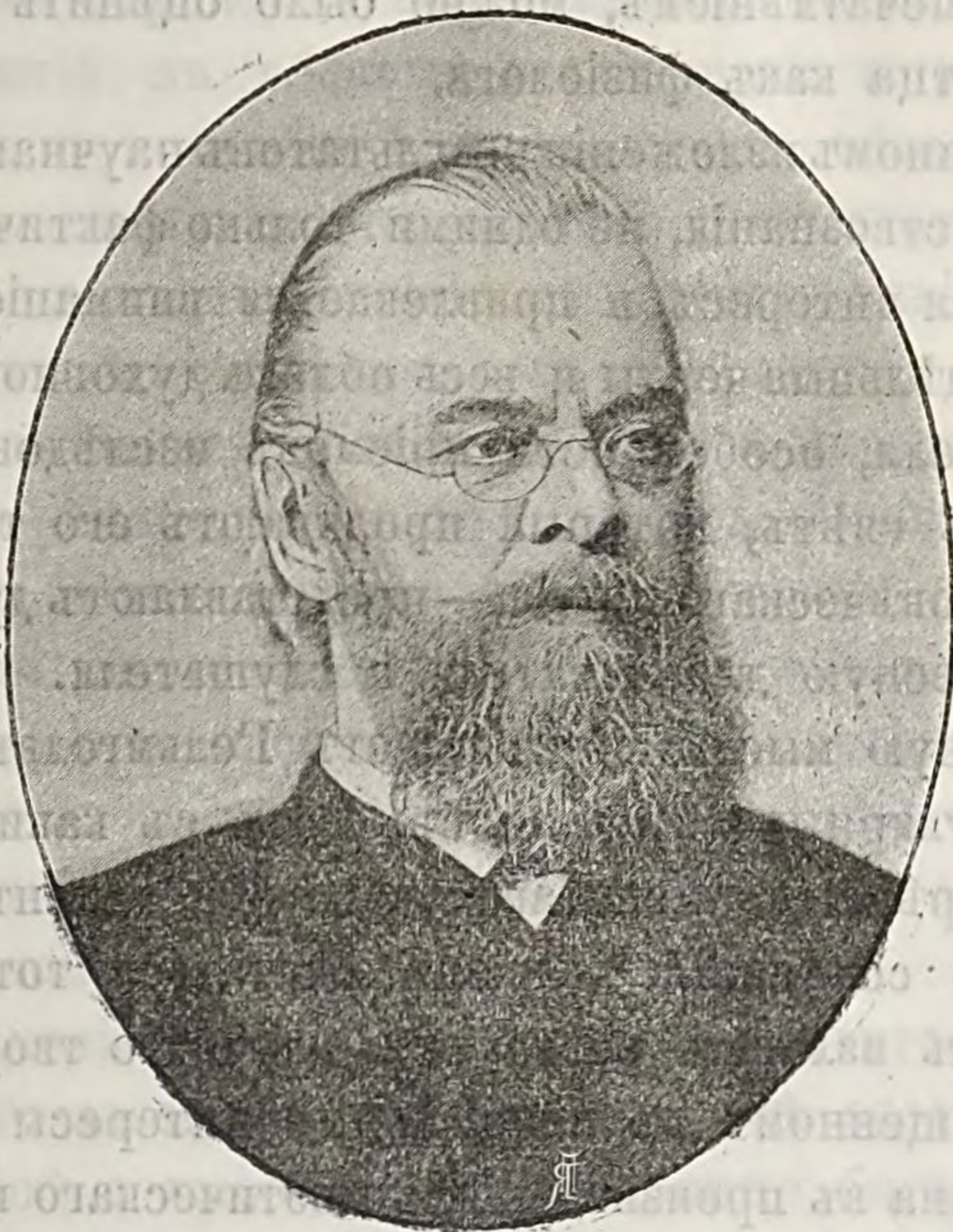
Во-вторыхъ, мы приняли, что въ большомъ интерваллѣ два звука могутъ диссонировать только благодаря верхнимъ тонамъ. Но отъ нашихъ камертоновъ получаются, какъ мы принимали, тоны простые; отчего же и здѣсь слышится диссонансъ септимы, фальшивой октавы и пр.?

И на это есть отвѣтъ. При сильномъ звучаніи, и отъ камертоновъ получаются слѣды гармоническихъ верхнихъ тоновъ ¹⁾. Кромѣ того оказывается, что сильный тонъ,—даже если онъ, объективно говоря, строго простой,—въ самомъ ухѣ, благодаря строенію этого органа, вызываетъ верхніе тоны. Эти факты стоятъ въ связи съ новой теоріей комбинаціонныхъ тоновъ. Этимъ объясняются результаты, полученные извѣстнымъ строителемъ акустическихъ инструментовъ, Кёнигомъ: желая повторить опыты Гельмгольца съ очень сильными звуками и погрѣшивъ при этомъ противъ правила: *pas trop de zèle*, Кёнигъ пришелъ къ выводамъ, по его мнѣнію несогласнымъ съ Гельмгольтцовой теоріей, а на самомъ дѣлѣ—ею предусмотрѣннымъ.

¹⁾ Отъ камертоновъ получаются еще *негармоническіе* верхніе тоны, но они быстро замираютъ.

Вотъ, въ главныхъ штрихахъ, Гельмгольцова теорія консонанса. Въ основѣ ея лежатъ два факта физическіе — сложный составъ звуковъ и явленіе біеній, и два факта фізіологическіе—способность уха къ анализу сложнаго звука и дѣйствіе прерывистыхъ раздраженій. Ни время, отмѣренное на лекцію, ни размѣръ моихъ музыкальныхъ свѣдѣній, не позволяютъ углубиться въ подробности и слѣдствія, исчерпанныя Гельмгольцомъ въ его чудной книгѣ, и я могу только еще разъ порекомендовать ее всякому интересующемуся акустикой и музыкой.

А. Столѣтовъ.



О. П. Шереметевскій (р. 18 января 1840, † 11 августа 1891 г.).

VI. Гельмгольтцъ какъ фѣзіологъ и значеніе его для психологіи.

Мм. Гг.

Тому назадъ 25 лѣтъ на мою долю выпало счастье изучать фѣзіологію, предметъ моего призванія, въ Гейдельбергѣ, подъ руководствомъ геніальнаго учителя, профессора Гельмгольца, славную, плодотворную для науки дѣятельность котораго мы теперь вспоминаемъ, предваряя предстоящее еще впереди международное торжество. Не безъ смущенія рѣшаюсь я, по праву и чувству нравственнаго долга признательнаго ученика, воспользоваться высокою честью занять ваше просвѣщенное вниманіе летучей экскурсіей въ тѣ области фѣзіологіи, гдѣ Гельмгольцомъ проложены новые пути, гдѣ оставлены наиболѣе глубокіе руководящіе слѣды генія знаменитаго изслѣдователя природы,—для того, чтобы хотя отчасти,

пользуясь ихъ впечатлѣніемъ, можно было оцѣнить значеніе и заслуги Гельмгольца какъ фізіолога.

Въ общедоступномъ изложеніи результатовъ научнаго изслѣдованія изъ области естествознанія, не одними только фактическими данными исчерпывается интересъ и привлекается вниманіе образованнаго общества: отдѣльныя черты и весь обликъ духовной дѣятельности естествоиспытателя, особенности пріемовъ изслѣдованія, цѣли его стремленій, тотъ свѣтъ, который проливаютъ его труды на великую загадку человѣческаго бытія,—представляютъ другую сторону, не менѣе интересную для читателя и слушателя.

Эту характерную мысль высказываетъ Гельмгольцъ въ одномъ изъ своихъ популярныхъ трактатовъ. Вотъ съ какими требованіями, съ точки зрѣнія знаменитаго ученаго и талантливаго автора общедоступныхъ сочиненій, долженъ считаться тотъ, кто беретъ на себя смѣлость излагать результаты научнаго творчества въ обществѣ, не посвященномъ въ спеціальные интересы науки.

Красота, истина въ произведеніяхъ поэтическаго и художественнаго творчества доступны пониманію безъ спеціальной подготовки, раскрываясь непосредственному созерцанію. Трудомъ напряженнаго вниманія дается усвоеніе научной истины, закона,—даже научно-дисциплинированному уму. Если математикъ восхищается изяществомъ доказательства какой-нибудь теоремы, если натуралисту доступна гармонія закона, обобщающаго повидимому разрозненныя явленія,—теоріи, раскрывающей ихъ смыслъ, вносящей порядокъ и стройность въ хаосъ противорѣчій,—онъ невольно отдается обаянію творчества, и на фонѣ этихъ впечатлѣній воображенію являються черты духовнаго образа генія-мыслителя, иногда отдаленной, давно минувшей эпохи. Передать въ общедоступной формѣ, при изложеніи фактовъ и результатовъ спеціальныхъ работъ изслѣдователя, то обаяніе творческой силы геніальнаго ума, которое мы испытываемъ при непосредственномъ знакомствѣ съ произведеніемъ научнаго творчества,—и составляетъ идеальную цѣль и самую трудную задачу для популяризатора какой-либо научной темы. Удовлетворить этимъ требованіямъ вообще не легко, и въ особенности—когда, какъ въ настоящемъ случаѣ, поставленъ вопросъ о заслугахъ современнаго намъ изслѣдователя, когда, въ краткомъ очеркѣ подводя итоги многосторонней полувѣковой дѣятельности

Гельмгольца, мы беремъ на себя смѣлость оцѣнить значеніе его трудовъ и открытій въ области изслѣдованія живой, мыслящей, сознающей себя и познающей природы—въ области фізіологіи.

Не подлежитъ сомнѣнію, что значеніе результатовъ и открытій въ области теоретическихъ вопросовъ естествознанія не такъ легко и скоро находитъ себѣ оцѣнку, какъ изобрѣтенія въ сферѣ прикладныхъ отраслей знанія, ближе стоящихъ къ практическимъ интересамъ жизни. Если первые не создаютъ переворота въ условіяхъ и формахъ нашей личной и общественной жизни, не увеличиваютъ суммы матеріальныхъ благъ, возбуждая удивленіе и признательность современниковъ,—безусловное, измѣряемое не непосредственною пользою, значеніе основныхъ, незыблемыхъ законовъ природы составляетъ тѣмъ не менѣе всю силу, основной фондъ человѣческаго знанія.

Начало сохраненія энергіи, возведенное Гельмгольцомъ въ достоинство общаго закона, опредѣляющаго всѣ соотношенія между явленіями мертвой и живой природы, должно быть поставлено наряду съ величайшими открытіями человѣческаго генія. Я не буду останавливаться на этомъ вопросѣ; вы могли съ нимъ ознакомиться въ изложеніи проф. Колли настолько, чтобъ оцѣнить его общее значеніе. Если я возвращаюсь къ этой темѣ, то только потому, что, взявшись въ краткомъ обзорѣ выяснить значеніе Гельмгольца какъ фізіолога, я желалъ бы ограничиться только тою группой фактовъ, которая имѣетъ болѣе непосредственное отношеніе къ закону сохраненія энергіи.

Говорятъ, семь городовъ древней Греціи оспаривали честь считаться родиной Гомера; не меньшее число специальныхъ областей научнаго знанія имѣютъ право признать Гельмгольца своимъ почетнымъ или, по крайней мѣрѣ, полноправнымъ гражданиномъ. Но какую же изъ отраслей научнаго знанія мы въ правѣ признать его духовной родиной, вліяніе которой отразилось на складѣ его генія, съ которой связаны его идеалы и симпатіи? Отвѣтъ на этотъ вопросъ мы получаемъ изъ общаго, хотя бы и краткаго, обзора его дѣятельности педагогической и литературной. Общіе и специальные университетскіе курсы Гельмгольца отличались всегда, при отсутствіи всякаго внѣшняго блеска, глубиной мысли, основательностью эрудиціи; общедоступные—при тѣхъ же достоинствахъ—

богатством и разнообразіемъ содержанія. Таковы его знаменитые курсы, посвященные систематическому обзору «общихъ результатовъ естествознанія» (*Allgemeine Resultate der Naturwissenschaften*), въ Гейдельбергскомъ университетѣ, для слушателей всѣхъ факультетовъ, въ которыхъ по семестрамъ чередовались темы біологическія, вопросы по общей физикѣ и космологіи,—курсы единственные въ своемъ родѣ, возможные только для Гельмгольца, съ его талантомъ, его громадной, чуть не всеобъемлющей, эрудиціей, его глубокимъ философскимъ образованіемъ. Не могу не упомянуть мимоходомъ объ его публичныхъ рѣчахъ, популярныхъ лекціяхъ. Предназначаемыя обыкновенно для аудиторіи довольно высокаго, даже высшаго уровня общаго образованія, при объективной строгости изложенія, съ печатью изящной простоты, онѣ производятъ, даже въ чтеніи, впечатлѣніе чудныхъ научныхъ импровизацій, всегда интересныхъ, увлекательныхъ даже для специалиста. Однѣ изъ нихъ,—какъ напримѣръ рѣчь, посвященная памяти своего учителя, профессора Густава Магнуса, отрывочныя воспоминанія о другомъ, болѣе знаменитомъ учителѣ—физиологѣ Іоганнѣ Милльюрѣ, о Фарадеѣ, характеристики ученыхъ друзей, Тиндала и Вилльяма Томсона,—проникнуты теплотою искренняго чувства, поражаютъ мѣткостью оцѣнки и тонкостью анализа. Въ нихъ найдется не одна интересная біографическая черта, рисующая нравственный обликъ самого автора въ его отношеніяхъ къ учителямъ, друзьямъ и противникамъ (конечно, на почвѣ научныхъ воззрѣній). Въ прекрасныхъ популярныхъ статьяхъ: «Работы Гёте въ области естествознанія», «О цѣляхъ и прогрессѣ естествознанія», «Мышленіе въ медицинѣ», «Объ аксіомахъ геометріи» и другихъ,—въ характеристикѣ ли поэзіи Гёте, Шиллера по отношенію къ вопросамъ философіи и задачамъ науки, въ опредѣленіи ли предѣловъ и задачъ философскаго и научнаго познанія, его путей и методовъ, наконецъ общей теоріи познанія,—мы встрѣчаемъ подъемъ трезвой мысли натуралиста до высоты и общности философскаго созерцанія.

Оставляю въ сторонѣ два классическіе трактата, по акустикѣ и оптикѣ, съ которыми вы могли здѣсь познакомиться изъ лекцій профф. Маклакова и Столѣтова. Но не могу въ заключеніе не обратить вашего вниманія на двѣ популярно-научныя экскурсіи въ

область искусства,—область чуждую наукѣ, какъ думаютъ нерѣдко (вспомнимъ хотя бы иронически-недовѣрчивое отношеніе Гёте къ физикѣ и къ Ньютону): я имѣю въ виду рядъ лекцій, читанныхъ въ Берлинѣ, Кёльнѣ и Дюссельдорфѣ по скромной программѣ: «Нѣчто изъ оптики въ области живописи» и лекцію «О фізіологическихъ основахъ музыкальной гармоніи», читанную въ Боннѣ, на родинѣ Бетховена,—этого, по выраженію Гельмгольца, «могущественнѣйшаго изъ героевъ звуковаго искусства». Задатки художественной натуры сказываются въ этихъ этюдахъ—и въ изящной простотѣ изложенія научныхъ основъ, и въ тонкости эстетическаго пониманія техники и требованій искусства, и въ чувствѣ мѣры при указаніяхъ, какъ и гдѣ наука, со своимъ анализомъ, индукціей, можетъ быть надежной пособницей искусства къ достиженію цѣлей художественной иллюзіи. И при всемъ томъ Гельмгольцъ признается, что «къ изученію искусства онъ подошелъ рѣдко когда избираемымъ окольнымъ путемъ, черезъ фізіологію чувствъ».

Я привелъ здѣсь перечень, конечно не полный, доступныхъ пониманію всякаго образованнаго человѣка произведеній Гельмгольца. Какъ нѣжная акварель, не воспроизводя полного впечатлѣнія, даетъ все-таки понятіе о картинѣ, такъ точно эти научные этюды, очерки, сдѣланные искусною рукой самого мастера, раскрываютъ міръ его идеаловъ, вводятъ въ доступную не всѣмъ область его научнаго творчества.

Что касается до вопроса о спеціальномъ призваніи Гельмгольца, то, кажется, мы не погрѣшимъ противъ истины, если признаемъ, что онъ былъ и есть по преимуществу *фізіологъ*, и что на настоящій періодъ его дѣятельности, на каѳедрѣ физики съ 1871 года, слѣдуетъ смотрѣть не какъ на измѣну первоначальному призванію, а какъ на отдыхъ ума, можетъ быть, утомленнаго изслѣдованіемъ процессовъ жизни въ наиболѣе сложныхъ и загадочныхъ формахъ ея проявленія.

Если прослѣдить послѣдовательно, въ хронологическомъ порядкѣ, его работы, то, при всемъ ихъ разнообразіи, не трудно убѣдиться, что онѣ болѣе или менѣе находятся въ связи, такъ или иначе примыкаютъ, иногда какъ подготовительные этюды, къ изслѣдованію и рѣшенію вопросовъ въ области жизненныхъ явленій. Можетъ быть, какъ это нерѣдко бываетъ, и случайныя обстоятель-

ства опредѣлили направленіе дѣятельности, въ нѣкоторомъ даже противорѣчіи со свойствами и характеромъ его генія. Вопросъ этотъ разрѣшается признаніемъ самого Гельмгольца, что «вопреки первоначальному влеченію къ физикѣ, внѣшнія обстоятельства побудили его заниматься медициной». Вполнѣ естественно, что въ физиологіи и въ изслѣдованіи ея вопросовъ могъ найти себѣ удовлетвореніе пытливый умъ съ его стремленіемъ къ точному знанію. Печальную картину состоянія медицины, ея грубаго эмпиризма, тумана ея метафизическихъ воззрѣній, рисуетъ намъ Гельмгольцъ въ своихъ мимолетныхъ воспоминаніяхъ. Но тогда же начиналась и эпоха возрожденія. Живое движеніе проявилось прежде всего въ физиологіи; начало было положено Іоганномъ Мюллеромъ, и въ его школѣ скоро развились и окрѣпли новыя силы. Такъ рѣшено было призваніе Гельмгольца. Кромѣ Мюллера и Густава Магнуса намъ неизвѣстны имена тѣхъ руководителей, которымъ онъ былъ обязанъ своими многосторонними знаніями. Въ теченіе пяти лѣтъ, отъ 1842 года, по окончаніи курса въ военно-медицинскомъ институтѣ, одинъ годъ Гельмгольцъ пробылъ въ Берлинѣ ассистентомъ въ Charité и четыре года прослужилъ военнымъ врачомъ (прибавимъ для курьеза, по формулярной справкѣ,—гарнизоннаго драгунскаго полка) въ Потсдамѣ. Едва ли условія жизни и обстоятельства за это время были благопріятны для занятій теоретическихъ вообще, или хотя бы математикой; а между тѣмъ въ 1847 году молодой военный врачъ публикуетъ свою работу «О сохраненіи силы», въ которой уже является во всеоружіи математическихъ знаній. Но это еще не доказываетъ, что мы должны считать Гельмгольца математикомъ: свободно пользуясь языкомъ математическихъ формулъ, какъ родною рѣчью, въ совершенствѣ владѣя техникой вычисленій, онъ широко примѣняетъ анализъ, какъ вспомогательное орудіе, на-ряду съ другими средствами изслѣдованія,—для простѣйшей постановки задачи въ общей формѣ, для строгаго опредѣленія закона въ символической формулѣ, для дедуктивной, наконецъ, разработки фактовъ наблюденія и опыта.

Положительный умъ, повидимому, былъ неспособенъ увлекаться чистыми абстракціями ни въ сферѣ математическаго, ни тѣмъ болѣе философскаго мышленія. Съ философіей математики и «истинной метафизикой» кругъ интересовъ Гельмгольца представляетъ

лишь двѣ главныя точки касанія или, если угодно, точки пересѣченія—въ вопросахъ, касающихся общей теоріи познанія: о происхожденіи геометрическихъ аксіомъ и понятій о пространствѣ и времени. И въ данномъ случаѣ исходной точкой и вмѣстѣ основой его воззрѣній служатъ фізіологическіе факты, законы чувственного воспріятія. Глубокій почитатель генія Канта, цѣнившій всю плодотворность основныхъ принциповъ его теоріи познанія, Гельмгольтцъ расширяетъ предѣлы значенія опыта; смѣлой постановкой на почву научнаго изслѣдованія вопроса о происхожденіи пространственныхъ представленій, если и не рѣшаетъ его, то во всякомъ случаѣ даетъ на него отвѣтъ въ своей эмпиристической теоріи, въ томъ видѣ какъ она изложена въ «Фізіологической оптикѣ»—съ точки зрѣнія психологической, и какъ она критически разработана далѣе въ нѣсколькихъ мемуарахъ, посвященныхъ изслѣдованію проблемы о происхожденіи аксіомъ геометріи—со стороны математической и філософской. При такомъ отношеніи къ «реальному идеализму» Канта, Гельмгольтцъ отрицательно относится къ метафизическимъ системамъ догматическаго характера, одинаково—и къ самодовольному схоластическому раціонализму зарождавшагося еще тогда нѣмецкаго матеріализма, и къ метафизическимъ спекуляціямъ, отъ господства которыхъ едва только освободилось естествознаніе. Если принять во вниманіе, что поколѣніе Гельмгольца воспиталось подъ гнетомъ принциповъ Шеллинга, Гегеля, такъ же какъ послѣдующимъ угрожали вліянія матеріализма и даже спиритизма,—нельзя не признать естественности, законности такого мышленія, нельзя не оцѣнить заслуги натуралиста-мыслителя въ ревнивой охранѣ самобытнаго развитія науки отъ вторженія произвольной абстракціи. Въ этой борьбѣ онъ принималъ участіе, какъ одинъ изъ доблестнѣйшихъ героевъ научной мысли. Не могу не отмѣтить черты характерной для великаго ума, спокойнаго въ сознаніи своей силы: не отвѣчая на личныя нападки, съ серьезными противниками онъ предпочиталъ считаться аргументаціей фактовъ, дополняя то, что представляется неяснымъ, дальнѣйшей детальной разработкой вопроса и новыми доказательствами.

Позволю себѣ коснуться значенія пройденной Гельмгольтцомъ медицинской школы, какова бы она ни была, и того, какъ отрази-

лось вліяніе самой професіи врача на всемі его умственномъ складѣ, въ развитіи его гуманитарнаго и гуманнаго міровоззрѣнія. Въ задушевной рѣчи, произнесенной по возвращеніи въ Берлинъ на праздникъ годовщины свой *almae matris*, военно-медицинскаго института, гдѣ онъ получилъ свое спеціальное образованіе, Гельмгольцъ,—тогда уже профессоръ физики, казалось, покончившій свои счеты съ медициной,—обращаясь къ прежнимъ своимъ професіональнымъ товарищамъ, называетъ медицину своей «духовной родиной», высказывая убѣжденіе, что «покинувшій ее сынъ можетъ все-таки лучше, чѣмъ чужой, понять свою мать и быть понятымъ ею». Вспоминая минувшую для медицины критическую эпоху броженія, борьбы ученой традиціи съ духомъ свободнаго изслѣдованія, старый ея ученикъ признается, что «въ юныхъ, обновленныхъ живою водою изъ источника естествознанія, чертахъ госпожи медицины (*Dame Medicin*) едва узнаеть ея прежній, строгій образъ почтенной матроны». Нужно ли прибавлять, какъ много была обязана «госпожа медицина» этимъ обновленіемъ лучшему изъ своихъ сыновъ, признательному за то, что она привела его самого къ тому-же живительному источнику знанія, указала вѣрные къ нему пути и благородную цѣль служенія страждущему человѣчеству—призваніе врача? «Когда стоишь, говоритъ онъ далѣе, предъ гаснущимъ взоромъ умирающаго, видишь горе семьи, потерявшей надежду, тогда невольно возникаютъ тяжелые вопросы: а все-ли ты сдѣлалъ, что могло бы предотвратить роковую участь, и самая наука—вооружена ли она всѣми познаніями и средствами помощи, которыми она должна бы обладать? И тутъ-то начинаешь понимать, что вопросы изъ теоріи познанія, вопросы о методикѣ науки, могутъ получать гнетущую силу и плодотворное практическое значеніе. Изслѣдователь чисто-теоретическій можетъ свысока и съ холодной улыбкой смотрѣть, какъ суетность и ложныя фантазіи навремя овладѣваютъ наукой, поднимая пыль,—лишь бы ему лично ничто не мѣшало въ его кабинетѣ. Быть-можетъ даже, предразсудки прошлаго покажутся ему интересными и простительными, какъ остатки поэтическаго романтизма и юношеской мечтательности. Но кому приходится вести борьбу съ враждебными силами дѣйствительности, для того немислимъ индифферентизмъ, тому не до романтики; то, что онъ знаетъ и что можетъ, должно выдер-

жать строгую проверку, нужно действовать при яркомъ и рѣзкомъ свѣтѣ фактовъ, нужно бросить привычку убаюкивать себя пріятными иллюзіями».

Въ нѣсколькихъ словахъ этой горячей исповѣди автора заключается вся исторія развитія его міровоззрѣнія, оправданіе выстраданныхъ имъ убѣжденій; она же лучше всего можетъ объяснить намъ, почему великій натуралистъ-мыслитель въ своей многообъемлющей дѣятельности является по преимуществу фізіологомъ и врачомъ.

Заканчивая этимъ нашу общую характеристику, мы можемъ перейти къ обзору спеціальныхъ работъ Гельмгольца въ области фізіологіи. Съ выдающимися результатами его изслѣдованій въ области фізіологической оптики и акустики вы уже познакомились изъ лекцій моихъ товарищей. Первый по времени (1842 г.) научный трудъ: «О строеніи нервной системы у безпозвоночныхъ», диссертация на латинскомъ языкѣ, представляетъ для насъ интересъ выборомъ темы. Въ немъ сказывается вліяніе господствовавшего тогда въ фізіологіи сравнительно-анатомическаго направленія. Вторая работа (1843 г.): «О сущности гніенія и броженія», уже экспериментальнаго характера, представляетъ попытку изслѣдовать, на-ряду съ физико-химическими условіями, участіе въ этихъ процессахъ біологическихъ факторовъ,—микроорганизмовъ. Въ работѣ этой, пробѣ силъ будущаго великаго мастера, мы встрѣчаемся со взглядами и положеніями, которые нашли себѣ оправданіе въ поразительныхъ результатахъ бактеріологіи настоящаго времени. Не станемъ останавливаться на трудѣ отчасти компилятивнаго характера: «О теплотѣ съ фізіологической стороны» (1845 г.), который, также какъ и болѣе поздній обзоръ работъ по акустикѣ (1848—49 гг.), имѣетъ смыслъ предварительнаго изученія почвы и служитъ предвѣстникомъ послѣдующихъ самостоятельныхъ изслѣдованій и открытій. И дѣйствительно, не болѣе какъ черезъ два года (1847 г.) появляется въ свѣтъ знаменитый мемуаръ «О сохраненіи силы».

Значеніе этого закона, зародившагося, такъ-сказать, на фізіологической почвѣ, вполне естественно отразилось плодотворными

результатами въ области фізіологіи. Въ немъ раскрывается планъ мірозданія, единство итога въ безконечномъ разнообразіи формъ энергіи. Въ растеніи получаютъ жизнь элементы мертвой природы. Энергіей лучей солнца, источника свѣта и жизни, изъ атомовъ углерода, водорода, азота, кислорода и другихъ элементовъ, заимствуемыхъ изъ почвы и изъ воздуха, въ органахъ растеній образуются новыя, сложныя соединенія. Творческая энергія свѣта не исчезаетъ и не уничтожается при этомъ синтезѣ, а сохраняется въ состояніи потенціальной энергіи, и если въ извѣстномъ смыслѣ она какъ-бы умираетъ, то—для того, чтобы воскреснуть въ новыхъ формахъ дѣятельной и потому болѣе совершенной животной жизни.

Животныя, по условіямъ и общему характеру своей организаціи, въ противоположность растеніямъ, не могутъ непосредственно утилизировать солнечную энергію, но получаютъ ее изъ готоваго запаса, собраннаго растеніями, какъ пищу,—въ продуктахъ растительнаго царства непосредственно, или же въ видѣ мяса и другихъ продуктовъ травоядныхъ животныхъ. Эти-то вещества, дары матери-земли, порожденные животворящимъ свѣтомъ солнца, въ животномъ организмѣ, превращаясь, ассимилируясь въ его ткани и органы, при ихъ же посредствѣ являются источникомъ всѣхъ динамическихъ процессовъ въ разнообразнѣйшихъ формахъ проявленія жизнедѣятельности. Это освобожденіе скрытой энергіи въ животномъ организмѣ есть результатъ химическихъ процессовъ—разложенія, окисленія, сгаранія извнѣ поступающихъ веществъ, какъ соединеній, большею частію, не вполне насыщенныхъ кислородомъ, способныхъ къ дальнѣйшему окисленію, до образованія окончательныхъ продуктовъ: воды, угольной кислоты и простѣйшихъ кислородныхъ соединеній азота. Далѣе, въ принципѣ по крайней мѣрѣ, мы должны допустить, что и въ организмѣ переходъ названной энергіи въ другія формы (механической работы мускуловъ, теплоты и электричества) происходитъ вполне согласно съ принципомъ сохраненія энергіи, т.-е. въ эквивалентныхъ отношеніяхъ. Если для организма совершенную достовѣрность этого пока еще нельзя признать доказанной во всѣхъ случаяхъ, то относительно механической работы мускуловъ можно сказать, что количество ея находится въ полной зависимости отъ траты

веществъ, развивающихъ силу. По приблизительнымъ вычислениямъ Гельмгольца (по точности они мало развѣ уступаютъ тѣмъ, какими удовлетворяются техники при оцѣнкѣ производительности машинъ), общее количество работы, производимой всѣми мускулами, почти соотвѣтствуетъ количеству сгорающаго въ организмѣ матеріала; недочетъ въ работѣ незначителенъ, а это показываетъ, что, въ сравненіи съ нашими искусственными машинами, живой механизмъ обладаетъ почти идеальною производительностію. Главный интересъ и значеніе этихъ выводовъ заключается въ томъ, что и живой организмъ, — въ тѣхъ именно своихъ отправленіяхъ, гдѣ, повидимому, представляются случаи произвольнаго развитія силы изъ ничего, — на самомъ дѣлѣ, не уклоняется отъ общаго закона сохраненія энергіи.

Но этимъ общимъ рѣшеніемъ не заканчивается задача фізіологическаго изслѣдованія. Оно приводитъ къ ряду другихъ детальныхъ вопросовъ, разработкой которыхъ, по почину и въ направленіи Гельмгольца, заняты и въ настоящее время лучшія силы фізіологовъ. Главнымъ и существеннымъ здѣсь прежде всего является вопросъ: какимъ путемъ энергія превращается въ механическую работу при сокращеніи мышцы? Происходитъ ли это черезъ посредство теплоты, такъ что мышцы работаютъ на принципѣ термодинамическихъ машинъ? Какую роль здѣсь играютъ явленія электрическія, измѣненія упругости веществъ? Наконецъ, какія изъ химическихъ составныхъ частей самой мышцы, или веществъ, поступающихъ извнѣ, участвуютъ въ превращеніяхъ, служатъ топливомъ въ этомъ чудномъ и, повидимому, простомъ механизмѣ, гдѣ нѣтъ ни колесъ, ни винтовъ, ни поршней?

Изъ работъ Гельмгольца, касающихся изслѣдованія физико-химическихъ процессовъ мышцы съ точки зрѣнія закона энергіи, слѣдуетъ назвать двѣ небольшія по объему, но важныя по своему принципиальному значенію: «О потребленіи вещества при мышечной работѣ» (1845 г.), «О развитіи тепла при мышечной работѣ» (1847 г.).

Дѣятельность мышцы, какъ оказалось изъ результатовъ первой работы, сопровождается убылью ея вещества, если судить по уменьшенію ея общаго вѣса. Этотъ расходъ на работу падаетъ, повидимому, въ значительной долѣ на наиболѣе цѣнный въ жиз-

ненной экономии материала, именно на бѣлки, изъ которыхъ построены и самый рабочий механизмъ мышцы. Фактъ интересный и нѣсколько парадоксальный, въ особенности съ точки зрѣнія практики машиностроительнаго искусства, такъ какъ ни одному инженеру не придетъ, конечно, въ голову строить машину, въ которой тратился бы, какъ топливо, на производство работы цѣнный материалъ самого механизма, желѣзо—вмѣсто дешеваго каменнаго угля. По этому спеціальному вопросу создалась цѣлая обширная литература, и несмотря на нѣкоторыя противорѣчія въ результатахъ отдѣльныхъ изслѣдованій, можно сказать, что въ общемъ итогѣ подтвердились первоначальныя указанія Гельмгольца.

Вторая изъ вышеназванныхъ работъ, о тепловыхъ явленіяхъ въ дѣятельной мышцѣ, представляетъ еще большій интересъ по своему значенію, какъ пролагающая новые пути. Еще прежде Беккерель открылъ фактъ, что мышца нагревается при сокращеніи. Но въ опытахъ Беккереля, на животныхъ теплокровныхъ и человѣкѣ, повышеніе температуры (иногда до полуградуса Цельсія) могло быть послѣдствіемъ увеличеннаго при сокращеніи притока крови, которая теплѣе мышцы и другихъ тканей. Вопросъ могъ быть разрѣшенъ лишь наблюденіями на хладнокровныхъ животныхъ, гдѣ температура мышцъ не зависитъ отъ притока крови. Это именно и сдѣлано Гельмгольцомъ. Посредствомъ термоэлектрическаго элемента (снаряда, болѣе чувствительнаго чѣмъ термометръ) первоначально ему, а затѣмъ и другимъ, удалось въ небольшой вырѣзанной мышцѣ лягушки найти нагреваніе до $0^{\circ},1$ при нѣсколько продолжительномъ, такъ-называемомъ тетаническомъ сокращеніи, и до $0^{\circ},001—0^{\circ},005$ —при одиночномъ мгновенномъ сокращеніи. Въ настоящее время всѣ экспериментальныя данныя въ совокупности приводятъ къ заключенію, что мышца производитъ работу не чрезъ посредство теплоты, а представляетъ рѣдкій примѣръ, гдѣ механическая работа является какъ непосредственный результатъ химическихъ процессовъ: въ моментъ ея сокращенія образуются новыя соединенія, съ другими физическими свойствами, что и сопровождается измѣненіемъ формы мышцы, уменьшеніемъ ея длины. Что касается тепловыхъ и электрическихъ явленій въ дѣятельномъ состояніи мышцы, то, при настоящемъ положеніи вопроса, на нихъ правильнѣе смотрѣть, какъ на

сопровождающія обстоятельства, не имѣющія прямой связи съ ея механической функціей.

Переходя теперь къ другимъ, еще болѣе важнымъ работамъ Гельмгольца въ области мышечной и нервной фізіологіи, необходимо, для ясности, коснуться основныхъ свойствъ мышечной и нервной ткани.

Фізіологическимъ свойствомъ, присущимъ всѣмъ живымъ тканямъ, каждому ихъ элементу, клѣткѣ и ея веществу, протоплазмѣ, является, то, что мы въ фізіологіи называемъ возбудимостью или раздражительностью. Свойство это съ особенной ясностью обнаруживается въ отправленіяхъ мышечной и нервной системы, какъ основное условіе ихъ дѣятельности. Мы не знаемъ, конечно, въ чемъ состоитъ его сущность; всѣ стремленія отыскать простѣйшую основу привели лишь къ выясненію зависимости и соотношенія фізіологическаго явленія и физическихъ, химическихъ и морфологическихъ свойствъ возбудимыхъ элементовъ. И этотъ результатъ представляетъ не малую побѣду труда и знанія. Но, рассматривая возбудимость какъ первичное фізіологическое свойство, мы можемъ сказать, что гораздо лучше знакомы теперь съ ея проявленіями, съ ея значеніемъ въ сложныхъ отправленіяхъ нервной и мышечной системы.

Выше было сказано, что растенія обладаютъ способностью воспринимать энергію солнечнаго свѣта, для построенія сложныхъ химическихъ соединеній: бѣлка, крахмала и т. д. изъ угольной кислоты, воды и амміака. Животный организмъ живетъ запасомъ солнечной энергіи, собранной растеніями; спящія силы просыпаются въ немъ въ новыхъ формахъ дѣятельной жизни. Но какъ совершается это превращеніе? Постараемся отвѣтить на этотъ вопросъ, а затѣмъ указать, сколько мы обязаны Гельмгольтцу въ его разъясненіи.

Запасъ энергіи, который заключается въ углѣ паровой машины, приводитъ въ движеніе колеса локомотива, когда разведутъ огонь; взрывъ пороховой мины произойдетъ, когда попадетъ въ нее искра. Нарушеніе равновѣсія, постепенное въ одномъ, мгновенное и бурное въ другомъ случаѣ, можетъ быть вызвано ничтожнымъ вліяніемъ извнѣ — искрой, слабымъ сотрясеніемъ взрывчатаго вещества,

даже мгновеннымъ дѣйствіемъ солнечнаго луча. Возбудимое вещество нерва и мышцы обладаетъ повидимому въ высокой степени этимъ свойствомъ взрывчатыхъ соединений. Оно выражается въ способности нерва и мышцы возбуждаться отъ такъ-называемыхъ стимуловъ, отъ дѣйствія свѣта, тепла, электричества, звуковыхъ колебаній, — непосредственно, или посредственно: чувствующій нервъ—при помощи особеннаго устройства концевыхъ аппаратовъ въ органахъ зрѣнія, слуха и пр., а мышца, въ свою очередь—черезъ двигательный нервъ. Какъ ни разнообразны эффекты раздраженія нерва,—является ли его послѣдствіемъ сокращеніе и работа мускула, отдѣленіе железы, или субъективный эффектъ—ощущеніе боли, свѣта, звука, — сущность самого основнаго процесса въ нервѣ остается во всѣхъ случаяхъ одна и та же.

Исслѣдованіе общихъ законовъ и явленій возбужденія въ направленіи, намѣченномъ еще съ сороковыхъ годовъ Дюбуа-Реймономъ и Гельмгольтцомъ, составляетъ наиболѣе выдающуюся задачу фізіологіи. Но прежде чѣмъ идти далѣе, позвольте предложить одинъ опытъ для иллюстраціи того, что сейчасъ мной было сказано относительно возбудимости нерва подѣ влияніемъ стимуловъ. Мы воспользуемся для этого самымъ обычнымъ объектомъ фізіологическаго опыта. Передъ нами отпрепарованныя съ нервами мышцы заднихъ конечностей лягушки; чтобы лучше видѣть ихъ всюду, я покажу ихъ въ увеличенномъ тѣневомъ изображеніи на экранѣ. Мы убѣдимся сейчасъ, что въ этихъ мертвыхъ органахъ сохраняется еще присущее имъ жизненное свойство—возбудимость, увидимъ ихъ движенія, которыя можно легко вызвать, раздражая чѣмъ бы то ни было нервъ. Изъ многихъ способовъ, для этого испытанія мы воспользуемся однимъ, не совсѣмъ обычнымъ: употребимъ въ качествѣ стимула звукъ. Опытъ представить, между прочимъ, тотъ интересъ, что дастъ намъ примѣръ цѣлаго ряда превращеній энергіи, съ участіемъ процессовъ органической природы. Не звуковыя волны непосредственнымъ своимъ влияніемъ на двигательный нервъ вызовутъ его раздраженіе; это было бы возможно только для слуховаго нерва, и то—при посредствѣ его концеваго органа. Лапки лягушки остаются въ покоѣ при звукахъ моей рѣчи. Но прибѣгнемъ къ помощи телефона. Концы проволоки

телефона соединяю съ нервами (рис. 54) и буду громко говорить въ отверстіе *E* телефона. Произношу: Дюбуа-Реймонъ! Гельмгольтцъ! — и лапки содрагаются. Я могъ бы сказать, что онѣ привѣтствуютъ

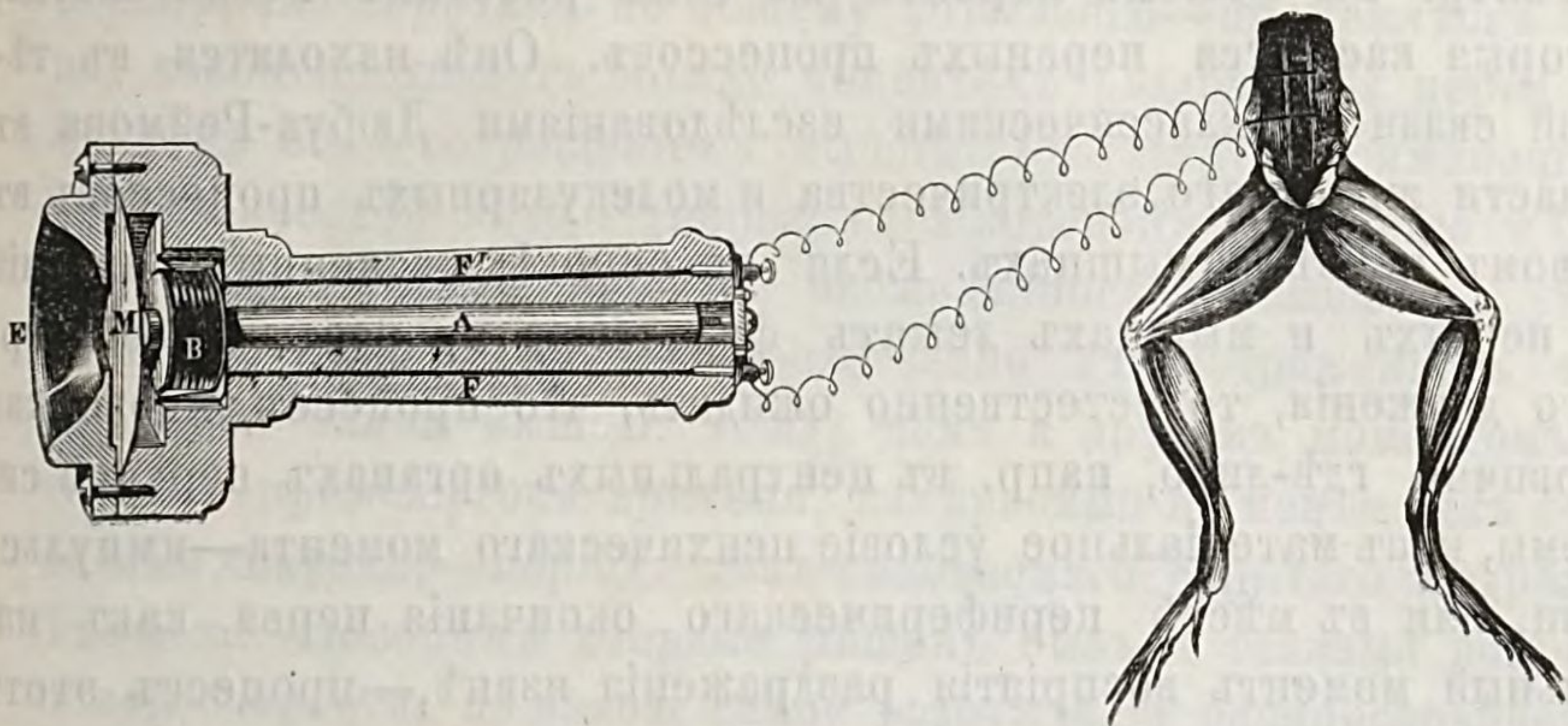


Рис. 54.

эти великія имена; но дѣло, конечно, не въ этомъ. Звукъ моего голоса колеблетъ пластинку *M* телефона, отъ этого періодически измѣняется сила магнита *A*, а вслѣдствіе того рождаются индуктивные электрическіе токи въ проволоку *FBF'*. Мы имѣемъ передъ собою эффектъ *электрическаго* раздраженія нерва; звукъ послужилъ только первымъ членомъ въ ряду превращеній энергіи.

Опытъ—замѣчу при этомъ—наглядно поясняетъ намъ, насколько фізіологія уже овладѣла условіями жизненнаго процесса. То же движеніе, какое происходитъ въ мышцѣ въ естественныхъ условіяхъ жизни, воспроизведено здѣсь искусственнымъ путемъ въ мышцѣ вырѣзанной. Такъ чудесное и таинственное въ природѣ замѣняется простымъ и очевиднымъ; поэтическій міръ въ объясненіи явленій уступаетъ мѣсто закону. Не откажу себѣ въ удовольствіи напомнить вамъ слова соплеменнаго нашему фізіологу поэта, — тѣмъ болѣе, что и на нихъ откликнутся эти мертвые мускулы ¹⁾:

Ach, von jenem lebenswarmen Bilde
Blieb der Schatten nur zurück!
Gleich dem todten Schlag der Pendeluhr,
Dient sie knechtisch dem Gesetz der Schwere,
Die entgötterte Natur!

¹⁾ Стихи произнесены были также передъ телефономъ.

(«Ахъ, отъ этой картины, согрѣтой жизнью, осталась одна тѣнь! Какъ мертвый ударъ часового маятника, рабски служить закону тяжести лишенная боговъ природа!»)

Теперь мы можемъ перейти къ тѣмъ работамъ Гельмгольца, которыя касаются нервныхъ процессовъ. Онѣ находятся въ тѣсной связи съ классическими изслѣдованіями Дюбуа-Реймона въ области животнаго электричества и молекулярныхъ процессовъ въ живомъ нервѣ и мышцахъ. Если въ основѣ жизненныхъ явленій въ нервахъ и мышцахъ лежатъ физическіе процессы молекулярнаго движенія, то естественно ожидать, что процессъ,—возникая первично гдѣ-либо, напр. въ центральныхъ органахъ нервной системы, какъ матеріальное условіе психическаго момента—импульса воли, или въ мѣстѣ периферическаго окончанія нерва, какъ начальный моментъ воспріятія раздраженія извнѣ,—процессъ этотъ долженъ распространяться по нервамъ въ томъ или другомъ направленіи: центробѣжномъ, какъ импульсъ воли къ мускуламъ, или центростремительномъ, къ органу сознанія. На нервы всегда смотрѣли какъ на проводники, сравнивая ихъ съ телеграфной проволокой, соединяющей центральную станцію въ головномъ и спинномъ мозгу съ периферическими станціями въ органахъ чувствъ и мышцахъ. Отчасти это сравненіе отразилось на представленіи о быстротѣ передачи такихъ депешъ по нервнымъ проводамъ этой живой телеграфной системы. Отождествляя процессъ нервнаго возбужденія, безъ достаточнаго на то основанія, съ электрическимъ токомъ, предполагали, что онъ распространяется со скоростью электрическаго разряда. Или, столь же произвольно считая нервное возбужденіе результатомъ движенія невѣсомой среды (эѳира), скорость этого движенія принимали равною скорости свѣта. Всѣ подобнаго рода преувеличенныя, какъ мы сейчасъ увидимъ, представленія, казались такъ правдоподобными; они такъ гармонировали съ укоренившимся привычнымъ взглядомъ на психическія явленія, даже въ простѣйшихъ формахъ нервныхъ процессовъ, какъ на нѣчто вполне независимое отъ матеріальныхъ условій, и потому неизмѣримо быстрое! Такъ смотрѣлъ на дѣло даже знаменитый фізіологъ Іоганнъ Мюллеръ. Но неразрѣшимая для учителя задача съ поразительною простотою была разрѣшена его геніальнымъ ученикомъ.

Въ 1850 году появился первый мемуаръ Гельмгольца «О методахъ измѣренія кратчайшихъ промежутковъ времени, съ примѣненіемъ къ физиологіи». Это была первая попытка опредѣлить тотъ — неизмѣримо-короткій, по общему убѣжденію — промежутокъ времени, какой протекаетъ между моментомъ раздраженія нерва и эффектомъ его — сокращеніемъ мышцы. Результаты примѣненія точной физической методы (первая идея которой встрѣчается у Пульѣ) были поразительны по своей неожиданности. Оказалось, что сокращеніе слѣдуетъ не непосредственно за раздраженіемъ нерва, или даже самой мышцы: между тѣмъ и другимъ моментомъ протекаетъ промежутокъ времени, измѣряемый не менѣе какъ сотыми долями секунды, — періодъ такъ-называемаго скрытаго раздраженія. Тѣмъ же способомъ впервые рѣшенъ былъ и главный вопросъ — о той скорости, съ какою самое возбужденіе распространяется по длинѣ нерва. Всѣ полученные результаты были затѣмъ подвергнуты строгой провѣркѣ еще другимъ, графическимъ способомъ, посредствомъ устроеннаго Гельмгольцомъ снаряда — *миографа*. Изслѣдованія эти изложены въ шести мемуарахъ (1850—1871 г.)

Я не стану затруднять васъ описаніемъ устройства аппарата, простаго по принципу, но нѣсколько сложнаго въ деталяхъ, и только дамъ понятіе о графической методѣ, которую затѣмъ воспроизведу предъ вами въ нѣсколько иномъ видѣ.

И тѣмъ и другимъ методомъ первыя измѣренія были произведены на нервахъ и мышцахъ лягушки. Отпрепарованный вмѣстѣ съ мышцею нервъ раздражался послѣдовательно индуктивнымъ токомъ въ двухъ точкахъ, удаленныхъ одна отъ другой на измѣренное разстояніе (обыкновенно около 2 сантиметровъ). Сухожилие мышцы, подвѣшенной въ миографѣ, соединено съ рычажкомъ, на концѣ котораго имѣется остріе; это остріе касается поверхности цилиндра, который приводится въ быстрое вращательное движеніе. Пока мышца находится въ покоѣ и длина ея не измѣняется, остріе чертитъ на цилиндрѣ слѣдъ въ видѣ горизонтальной линіи. Когда мышца сокращается, пишущее остріе поднимается вверхъ; при этомъ на цилиндрѣ неподвижномъ оно начертитъ вертикальную линію, на цилиндрѣ вертящемся получится кривая линія. Эта «миограмма» наглядно представитъ всѣ фазы сокращенія мышцы, измѣненія ея длины, отъ начала до конца процесса. Вотъ, для при-

мѣра, двѣ такія міограммы (рис. 55). Мѣсто, гдѣ поднимается кривая, отдѣляясь отъ горизонтальной линіи, соотвѣтствуетъ началу сокращенія мышцы; вертикальная черта обозначаетъ моментъ раздраженія нерва; разстояніе отъ нея до точки подъема кривой

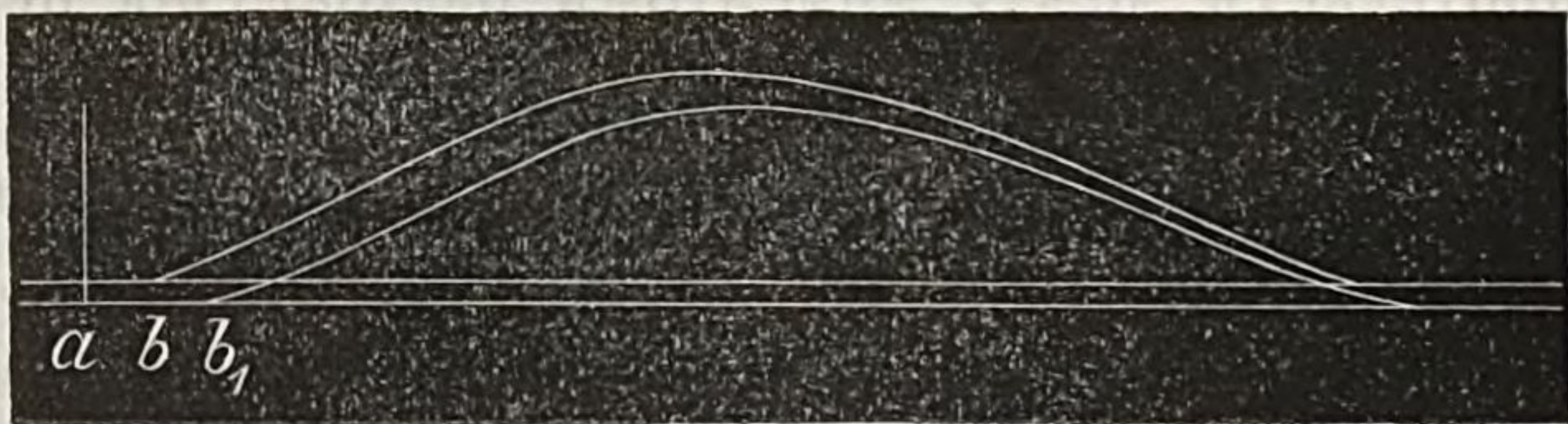


Рис. 55.

измѣряетъ собою время, протекающее между раздраженіемъ и сокращеніемъ, иначе — продолжительность періода «скрытаго раздраженія». Въ нижней кривой, когда раздраженіе отъ точки нерва болѣе удаленной проходитъ болѣе длинный путь къ нерву, періодъ скрытаго раздраженія продолжительнѣе, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда нервъ раздражался ближе къ мышцѣ. Очевидно, что разность періодовъ скрытаго раздраженія въ двухъ послѣдовательныхъ опытахъ зависитъ отъ различной длины пути, который проходитъ раздраженіе до мышцы. Если извѣстна скорость вращенія цилиндра, легко вычислить, насколько опаздываетъ сокращеніе, вслѣдствіе того что путь увеличился на извѣстную длину, и слѣдовательно — найти скорость, съ какою распространяется возбужденіе по двигательному нерву лягушки. Въ среднемъ изъ нѣсколькихъ опытовъ (по той и по другой методѣ) эта скорость оказалась — не болѣе 27 метровъ въ секунду!

Тѣ же методы, съ нѣкоторыми измѣненіями, вслѣдъ затѣмъ примѣняетъ Гельмгольтцъ къ рѣшенію задачи по отношенію къ нервамъ человѣка. Опыты эти представляютъ еще большій интересъ.

Нужно замѣтить, что къ изслѣдованію рассматриваемаго вопроса Гельмгольтцъ былъ подготовленъ извѣстными фактами, замѣченными именно на человѣкѣ. Давно въ астрономической практикѣ былъ подмѣченъ любопытный и непонятный фактъ: при наблюденіи прохожденія звѣзды чрезъ меридіанъ, причемъ наблюдатель отмѣчаетъ этотъ моментъ, производя нѣкоторое движеніе, — всегда получается разница между моментомъ отмѣченнымъ и моментомъ вычисленнымъ заранее; отмѣтка запаздываетъ, и эта погрѣшность

бываетъ различна для различныхъ наблюдателей, но почти постоянна для каждаго отдѣльнаго наблюдателя. Странный фактъ этотъ находитъ себѣ теперь простое объясненіе въ свойствахъ фізіологическаго процесса: во-первыхъ, на воспріятіе свѣтоваго впечатлѣнія, и во-вторыхъ, на передачу къ мышцамъ двигательнаго импульса,—требуется время. Весь промежутокъ времени, въ теченіе котораго развиваются всѣ фізіологическіе процессы, отъ момента раздраженія какого-либо чувствующаго нерва до наступленія реакціи движенія, Гельмгольтцъ называетъ «фізіологическимъ временемъ» или «періодомъ реакціи». Продолжительность этого фізіологическаго времени различна, смотря по индивидуальнымъ особенностямъ. Но и для даннаго субъекта величина эта измѣняется отъ слѣдующихъ факторовъ: 1) отъ длины чувствующаго пути, 2) отъ длины двигательнаго пути и 3) отъ свойства центральныхъ процессовъ,—передачи возбужденія съ чувствующаго пути на двигательный. Этотъ послѣдній факторъ наиболѣе подлежитъ колебаніямъ, два первые отличаются постоянствомъ. Реакція, на примѣръ, замедляется болѣе или менѣе, когда передача впечатлѣній съ чувствующихъ путей на двигательные такъ или иначе осложняется психическимъ моментомъ. Когда движеніе должно быть произведено, какъ только мы почувствуемъ ощущеніе свѣта, звука, боль, безъ всякаго отношенія къ вызвавшей это ощущеніе объективной причинѣ,—періодъ реакціи имѣетъ наименьшую продолжительность. Но если требуется не только вообще ощутить свѣтъ, но при этомъ узнать и различить нѣкоторый образъ отъ другихъ подобныхъ (на примѣръ, какой-нибудь знакъ, букву или цифру) и тогда уже отвѣтитъ на впечатлѣніе тѣмъ или другимъ движеніемъ по условному выбору, то этотъ простѣйшій психическій актъ различенія уже значительно удлиняетъ періодъ реакціи.

Наконецъ, еще одно замѣчаніе. Продолжительность фізіологическаго времени, при равной длинѣ путей, по которымъ распространяется возбужденіе, зависитъ отъ свойства раздраженія и отъ специфическаго характера процессовъ воспріятія. Изъ всѣхъ возбужденій, воспринимаемыхъ органами чувствъ, звуковое раздраженіе требуетъ наименьшаго времени для развитія двигательной реакціи.

Вотъ тѣ главнѣйшія положенія, къ которымъ приводятъ изслѣ-

дованія Гельмгольца и его послѣдователей на этомъ пути, фізіологовъ, астрономовъ, физиковъ: Дондерса, Гирша, Кольрауша, Вебера, Шельске, Винчгау и др.

Попытаемся теперь сдѣлать опытъ: опредѣлимъ продолжительность фізіологическаго времени при раздраженіи чувствительныхъ нервовъ индуктивнымъ токомъ. Я воспользуюсь любезностью молодого моего товарища-фізіолога, выразившаго готовность послужить намъ объектомъ для этихъ опытовъ. Планъ и принципъ ихъ заимствованъ у Гельмгольца, но вмѣсто міографа, въ интересахъ большей демонстративности, употребимъ другую комбинацію. Схематически она изображена на *рис. 56*.

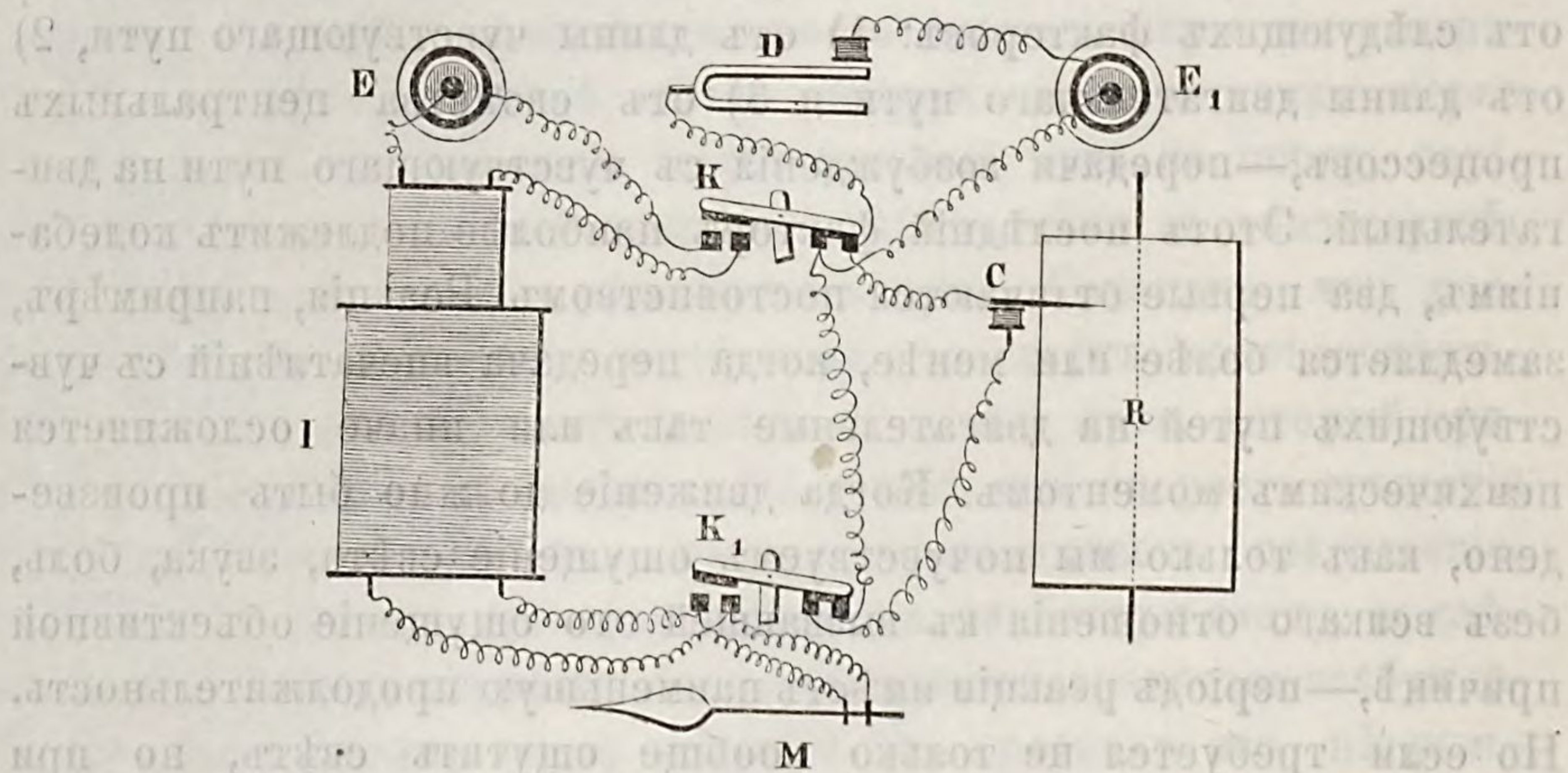


Рис. 56.

M—нервномышечный аппаратъ испытуемаго субъекта. *I*—индуктивный снарядъ, коего первичная катушка получаетъ токъ отъ гальваническаго элемента *E*, а вторичная соединена съ двумя точками нерва. *D*—камертонъ, дающій 100 качаній въ секунду; вблизи его небольшой электромагнитъ, получающій токъ отъ элемента *E*₁; при колебаніяхъ камертона цѣпь элемента *E*₁ то замыкается, то размыкается, и этимъ самымъ (благодаря періодическому притяженію зубца камертона къ электромагниту) поддерживаются колебанія,—если только въ цѣпи нѣтъ другаго перерыва. *R*—вращающійся цилиндръ, покрытый закопченною бумагою; остріе *C* пишетъ на немъ линію, которая, буде остріе при этомъ колеблется, получаетъ видъ

волнистый. K и K_1 — два ключа, или замыкателя; каждый изъ нихъ, при положеніи, представленномъ на рисункѣ, устанавливаетъ металлическое соединеніе на лѣвой сторонѣ и разрываетъ таковое на правой, а при поворотѣ (лѣвымъ концомъ внизъ) — производитъ обратный результатъ.

Замыкая ключомъ K цѣпь элемента E , экспериментаторъ пускаетъ въ нервъ субъекта индуктивный токъ и производитъ раздраженіе. Въ то же время въ цѣпь элемента E_1 вводится остріе C съ его электромагнитомъ; вслѣдствіе прерывчатаго тока, который въ нихъ поступаетъ, остріе начинаетъ колебаться и писать волнистую линію, каждый зубчикъ или волна которой соотвѣтствуетъ $\frac{1}{100}$ долѣ секунды. Въ тотъ моментъ, когда послѣдуетъ мышечная реакція, рука субъекта поворачиваетъ ключъ K_1 , и этимъ съ одной стороны прекращаетъ раздраженіе (устанавливая прямое металлическое сообщеніе между концами индуктивной спирали), а съ другой — размыкаетъ цѣпь E_1 и прекращаетъ качанія острія C . Число записанныхъ на цилиндрѣ зубчиковъ даетъ намъ то время, какое протекло между моментомъ раздраженія и моментомъ мышечной реакціи, въ сотыхъ доляхъ секунды.

Теперь приступаемъ къ опыту: раздражаемъ индуктивнымъ токкомъ чувствующіе нервы въ концѣ пальца; получается отвѣтное движеніе. Повторимъ опытъ, раздражая кожу въ точкѣ болѣе близкой къ центрамъ сознанія: выберемъ для этого кончикъ уха и приложимъ къ нему тѣже электроды.

Тотъ и другой опытъ окончены; всѣ данныя уже записаны, и мы сейчасъ ихъ рассмотримъ. А пока отдадимъ себѣ отчетъ, въ томъ, что мы должны получить. Въ двухъ случаяхъ раздражались окончанія чувствующихъ нервовъ, неодинаково удаленныя отъ центра воспріятія, головного мозга. При раздраженіи пальцевъ, возбужденіе должно было пройти болѣе длинный путь; разница въ длинѣ приблизительно равнялась одному метру (точнѣе будетъ принять 1,35 метра). Длина двигательнаго пути и время, необходимое для передачи импульса отъ головного мозга къ мышцѣ, въ обоихъ случаяхъ оставались постоянными. Мы должны поэтому ожидать, что измѣряемое фізіологическое время будетъ больше въ томъ случаѣ, когда возбужденіе должно было пройти болѣе длинный путь. Изъ полученныхъ данныхъ мы можемъ опредѣлить

и скорость распространения возбуждения по чувствующимъ и двигательнымъ нервамъ, равно какъ и время потребное на образование ощущения и двигательного импульса. Разница въ длинѣ періода реакціи прямо даетъ намъ ту скорость, съ которою возбужденіе распространялось по чувствующему нерву между двумя точками раздраженія. Въ опытахъ Гельмгольца надъ двигательными нервами получалась скорость: наименьшая 27 и наибольшая 67 метровъ въ секунду. Зная это и принимая ту же самую скорость и для чувствующихъ нервовъ, легко вычислить, какая доля времени изъ всего періода реакціи приходится на движеніе нервного возбужденія по двойному периферическому пути; что останется за вычетомъ этой величины—и будетъ время, необходимое для развитія элементарнаго акта сознанія и импульса воли.

Теперь взглянемъ на наши графическіе документы, записанные камертономъ (рис. 57). Это—двѣ строчки волнообразныхъ линій:

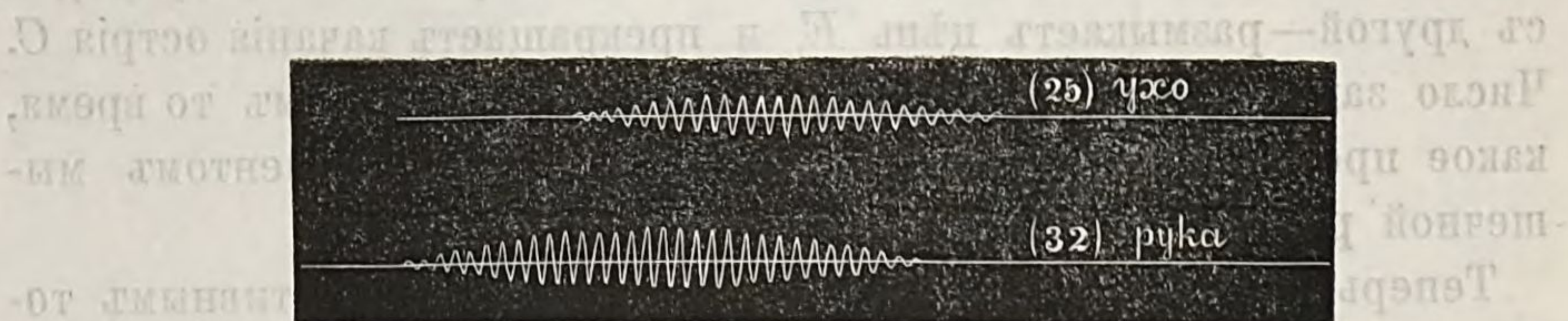


Рис. 57.

нижняя получена при раздраженіи руки, верхняя—отъ уха; чувствительный путь въ первомъ случаѣ длиннѣе на 1 метръ, соответственно тому нижній завитокъ получился длиннѣе верхняго. Если сосчитать число зубчиковъ въ первомъ, ихъ окажется 32, изъ нихъ каждый длится 0,01 сек. Следовательно фیزیологическое время здѣсь было 0,32 сек. Во второмъ случаѣ оно длилось 0,25 сек. Разница равняется 0,07 сек. Въ эти именно семь сотыхъ долей секунды возбужденіе пробѣгало путь длиною въ одинъ метръ; следовательно скорость этого движенія есть 14,3 метра въ 1 секунду. Принимая длину пути точнѣе за 1,35 метра, получимъ 19,3 метра въ секунду. (Другая міограмма, прежде полученная, дала 27 метр.) Далѣе, примемъ, что длина чувствительнаго пути (отъ мѣста раздраженія до окончанія его въ головномъ мозгу) и длина двигательнаго (оттуда обратно до мышцы) равны 1 метру, а въ сложности 2 метрамъ. Вычитая изъ періода реакціи (0,32 сек.)

соотвѣтствующее движенію по периферическимъ путямъ время (0,14 сек.), получимъ 0,18 сек. Таково время, потраченное на центральный процессъ—развитіе акта сознанія и импульса воли.

Въ ряду многочисленныхъ изслѣдованій Гельмгольца въ области процессовъ нервной и мышечной системы я выбралъ одно изъ замѣчательнѣйшихъ его открытій. На этомъ частномъ вопросѣ всего лучше можемъ составить себѣ понятіе о характерѣ и особенностяхъ его генія. И кромѣ того, рѣшеніе вопроса служитъ лучшей характеристикой того плодотворнаго направленія, въ которомъ физиологія такъ много обязана Гельмгольцу.

Нашъ обзоръ того, что сдѣлано Гельмгольцомъ въ области изслѣдованія процессовъ жизни, далеко неполонъ. Мы могли коснуться только нѣкоторыхъ его трудовъ, имѣющихъ отношеніе къ общему закону сохраненія энергіи, къ ея превращеніямъ въ условіяхъ физиологической организаціи. Другая обширная область—дѣятельность органовъ чувствъ—уже была предметомъ отдѣльных рефератовъ.

Гельмгольца нельзя назвать ни философомъ, ни психологомъ: онъ не создалъ системы, претендующей на разрѣшеніе міровыхъ вопросовъ, вѣчныхъ загадокъ духовнаго и вещественнаго бытія. Но, какъ бы слѣдую изреченію миѳическаго мудреца, переданному намъ словами поэта:

«Желаешь извѣдать законы вселенной—

«Въ тиши, наблюденіемъ природы священной,
Познанья свои расширяй!

—неутомимымъ трудомъ трезвой мысли онъ указываетъ намъ путь изслѣдованія связи между духовнымъ и вещественнымъ бытіемъ. Къ сильной работѣ на этомъ трудномъ пути научнаго изслѣдованія призваны всѣ, вооруженные знаніемъ того, что уже пройдено другими. «Труденъ [первый шагъ и скученъ первый путь], но каждаго начинающаго ободрить увѣренность, что путь этотъ не приведетъ къ разочарованіямъ. Если никто не достигнетъ конечной цѣли знанія и полного удовлетворенія своихъ стремленій, то никто исполнившій долгъ труда, «долгъ завѣщанный отъ Бога», не повторитъ съ Манфредомъ, что «знанье — скорбь» (Sorrow is

knowledge). Никто, обладающій силой сдерживать свои стремленія въ глубь и въ высь, за предѣлы научнаго знанія, не впадетъ ни въ область жалкихъ иллюзій, ни въ отчаяніе Фауста, прокли-
нающаго самое знаніе. Примѣръ счастливаго психическаго равно-
вѣсія потенціальной энергіи—идеальныхъ стремленій—и живой си-
лы—научной работы,—такой примѣръ представляетъ намъ маститый
фізіологъ-натуралистъ. Пятидесятилѣтняя его дѣятельность, плодо-
творная для науки и для блага человѣчества, можетъ служить опро-
верженіемъ романтическаго и философскаго пессимизма и даетъ
намъ право заключить намъ очеркъ передѣлкою Байроновскаго
стиха: сказать, что «древо знанія *есть* вмѣстѣ съ тѣмъ и древо
жизни!»... ¹⁾

Ө. Шереметевскій.

¹⁾ У Байрона: The Tree of Knowledge is not that of Life. (*Manfred*).

VII. Работы по электричеству въ связи съ химіею.

Мм. Гг.

На мою долю выпала задача ознакомить васъ съ важнѣйшими научными заслугами профессора Гельмгольца въ позднѣйшій періодъ его дѣятельности. Начало этого періода естественно отнести къ 1871 году, когда знаменитый гейдельбергскій фізіологъ принялъ предложеніе прусскаго правительства занять кафедру физики въ Берлинскомъ университетѣ, освободившуюся со смертію Магнуса.

Сдѣлавшись профессоромъ физики, а съ 1874 года и директоромъ новаго физическаго института въ Берлинѣ, Гельмгольцъ, понятнымъ образомъ, свою дальнѣйшую дѣятельность переноситъ въ область новой спеціальности. Я не имѣю въ виду излагать вамъ сколько-нибудь подробный обзоръ всѣхъ трудовъ и заслугъ Гельмгольца въ физикѣ за этотъ періодъ: такая задача далеко выходила бы за предѣлы настоящей бесѣды. Я ограничусь лишь работами его въ томъ отдѣлѣ физики, который тогда болѣе всего интересовалъ его и въ лѣтописяхъ котораго имя Гельмгольца сохранится навсегда. Этотъ отдѣлъ — электричество. Работами по электричеству дебютировалъ Гельмгольцъ при своемъ вступленіи въ Берлинскій университетъ; ими онъ по преимуществу занимался въ бытность директоромъ физическаго института, ими же и закончилъ тамъ свою дѣятельность.

Первыя его работы относятся къ области электродинамики, и хотя имѣютъ весьма важное значеніе въ теоретической физикѣ, Гельмгольцъ.

однако не могут быть трактуемы безъ помощи высшаго анализа, и потому не пригодны для популярной лекціи. Я тѣмъ охотнѣе отказываюсь отъ этой задачи, что мнѣ едва хватитъ времени ознакомить васъ въ общихъ чертахъ съ заслугами Гельмгольца въ той области электричества, которой онъ почти всецѣло посвятилъ 16 лѣтъ своей дѣятельности и въ которой онъ открылъ своими работами новую эру.

Эта излюбленная Гельмгольцомъ область электричества носить общее названіе *электролиза* и обнимаетъ собою обширный кругъ физико-химическихъ явленій, представляя одно изъ самыхъ мощныхъ звеньевъ, связующихъ между собою физику и химию.

Подъ электролизомъ разумѣется разложеніе какого-либо химически-сложнаго тѣла, или соединенія, на его составныя части посредствомъ электрическаго тока. Типичный примѣръ этихъ явленій мы имѣемъ въ разложеніи токомъ воды на элементы: водородъ и кислородъ.

При этомъ надо сказать вообще, что для такого разложенія являются болѣе пригодными не электрическія машины, которыя доставляютъ электричество большаго напряженія, но—лишь въ маломъ количествѣ, а гальваническіе элементы, дающіе большое количество электричества малаго напряженія.

Простѣйшимъ типомъ гальваническаго элемента служитъ элементъ Даніэля (рис. 58), состоящій изъ двухъ пластинокъ, цинковой *Z* и мѣдной *C*, погруженныхъ



Рис. 58.

каждая въ свою жидкость: цинкъ въ разбавленную сѣрную кислоту, а мѣдь въ растворъ мѣднаго купороса. Во избѣжаніе смѣшенія жидкостей, онѣ отдѣлены другъ отъ друга пористой глиняной перегородкой (цилиндромъ *D*). Нашъ элементъ обладаетъ тѣмъ свойствомъ, что мѣдный и цинковый концы его всегда заряжены противоположными электричествами: мѣдный положительнымъ, а цинковый отрицательнымъ. Поэтому

ихъ называютъ обыкновенно положительнымъ и отрицательнымъ *полюсами* элемента. Если, далѣе, мы эти полюсы соединимъ металлической проволокой или, какъ говорятъ, замкнемъ цѣпь, то черезъ цѣпь будетъ идти электрическій токъ все время, пока она остается замкнутой. Сила, поддерживающая этотъ токъ, называется *электродвижущею силою* элемента; она гонитъ положительное электричество съ мѣднаго полюса черезъ соединительную проволоку къ цинковому полюсу, а отрицательное электричество въ обратномъ направленіи. За *направленіе тока* берется всегда направленіе движенія *положительнаго* электричества въ соединительной проволоцѣ; слѣдовательно, для элемента Даніэля направленіе тока въ проволоцѣ будетъ отъ мѣди къ цинку. Надо замѣтить, что внутри самого элемента положительный токъ будетъ идти наоборотъ—отъ цинка къ мѣди, такъ что во всей цѣпи теченіе электричества совершается въ одномъ круговомъ направленіи.

Электродвижущая сила элемента остается одна и та же при всѣхъ условіяхъ опыта, ибо она, какъ увидимъ далѣе, обуславливается только химическою дѣятельностію внутри элемента. Но, въ противоположность ей, *сила тока* въ цѣпи или *напряженіе тока* зависитъ всецѣло отъ условій опыта. Именно, по закону Ома, сила тока, возрастая вмѣстѣ съ электродвижущею силою элемента, убываетъ по мѣрѣ того *сопротивленія*, какое приходится преодолевать току на своемъ пути.

Мы всегда легко можемъ судить о величинѣ тока и объ его измѣненіяхъ, если введемъ въ цѣпь инструментъ, называемый *гальванометромъ*. Этотъ инструментъ (рис. 59) состоитъ изъ магнитной стрѣлки, подвѣшенной на нити внутри рамы или катушки, на которую наложено мѣдное кольцо или намотана обвитая шелкомъ мѣдная проволока. Рама устанавливается такъ, чтобы обороты проволоки были параллельны свободно висящей стрѣлкѣ гальванометра. Если мы концы *b* и *d* проволоки соединимъ съ полюсами элемента Даніэля, то по ней потечетъ электрическій токъ, который будетъ отклонять магнитную стрѣлку въ ту или другую сторону отъ ея положенія равновѣсія; направленіе отклоненія будетъ зависѣть отъ направленія тока въ катушкѣ гальванометра, а величина угла отклоненія—отъ силы тока. Измѣривши этотъ уголъ,

мы будемъ такимъ образомъ въ состояніи опредѣлить силу тока во всякій моментъ.

Послѣ этихъ предварительныхъ замѣчаній обратимся къ интере-

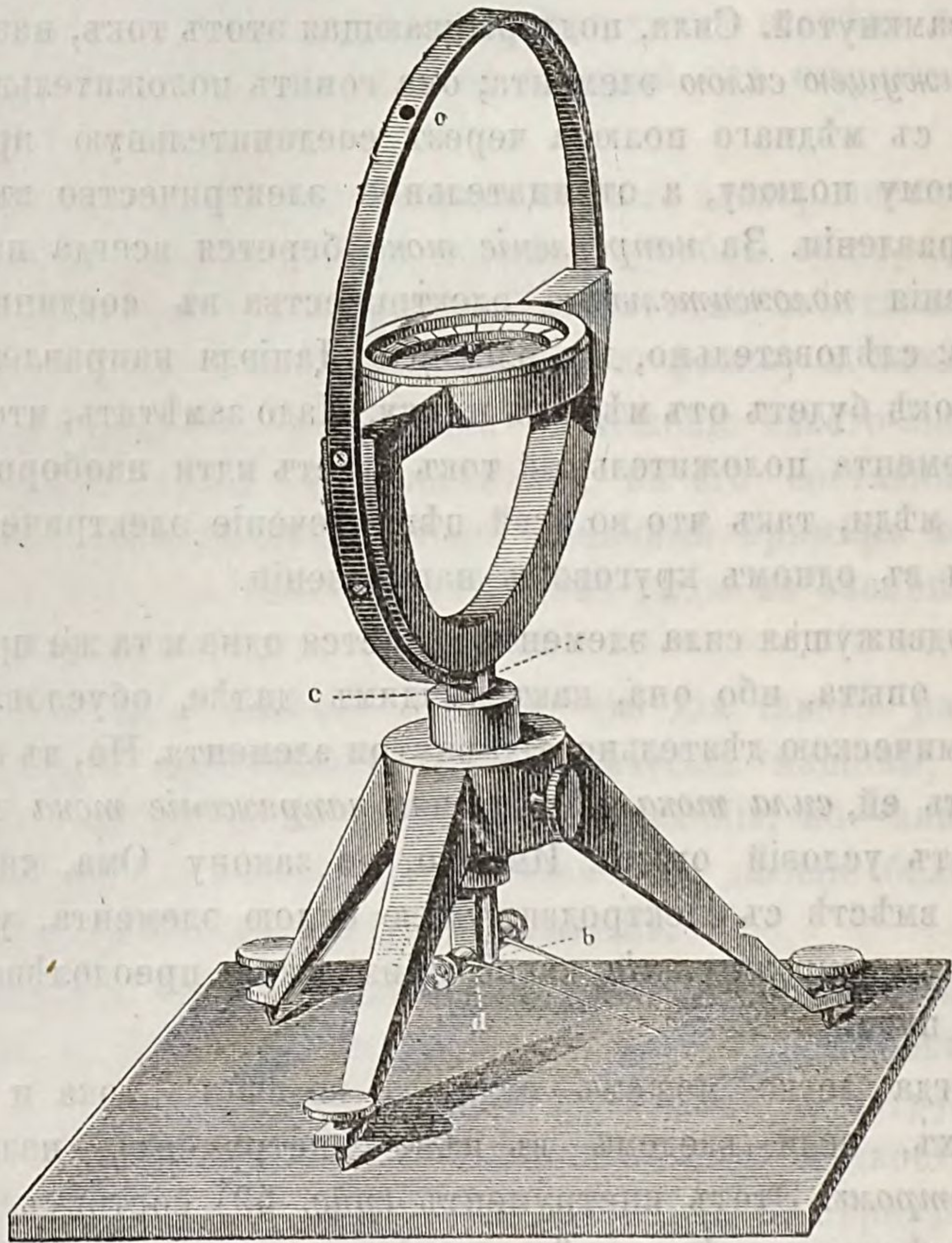


Рис. 59.

сующимъ насъ явленіямъ электролиза. Составимъ цѣпь (рис. 60) изъ нѣсколькихъ (на рисункѣ — двухъ) элементовъ Даніэля *B*, соединенныхъ въ рядъ одинъ за другимъ, изъ гальванометра *T* для наблюденія тока и изъ вольтаметра *V*. Этимъ именемъ называется приборъ, употребляемый для электролиза жидкостей; онъ состоитъ изъ сосуда, наполненнаго испытуемой жидкостью и двухъ платиновыхъ пластинокъ или *электродовъ*. При помощи одного изъ электродовъ (*f'*) токъ вводится въ вольтаметръ, а

при помощи другого (f) выводится изъ него; первый называется *анодомъ* и соединяется съ положительнымъ полюсомъ элемента, а второй *катодомъ* и соединяется съ отрицательнымъ полюсомъ. Въ качествѣ жидкости или электролита мы можемъ употребить вся-

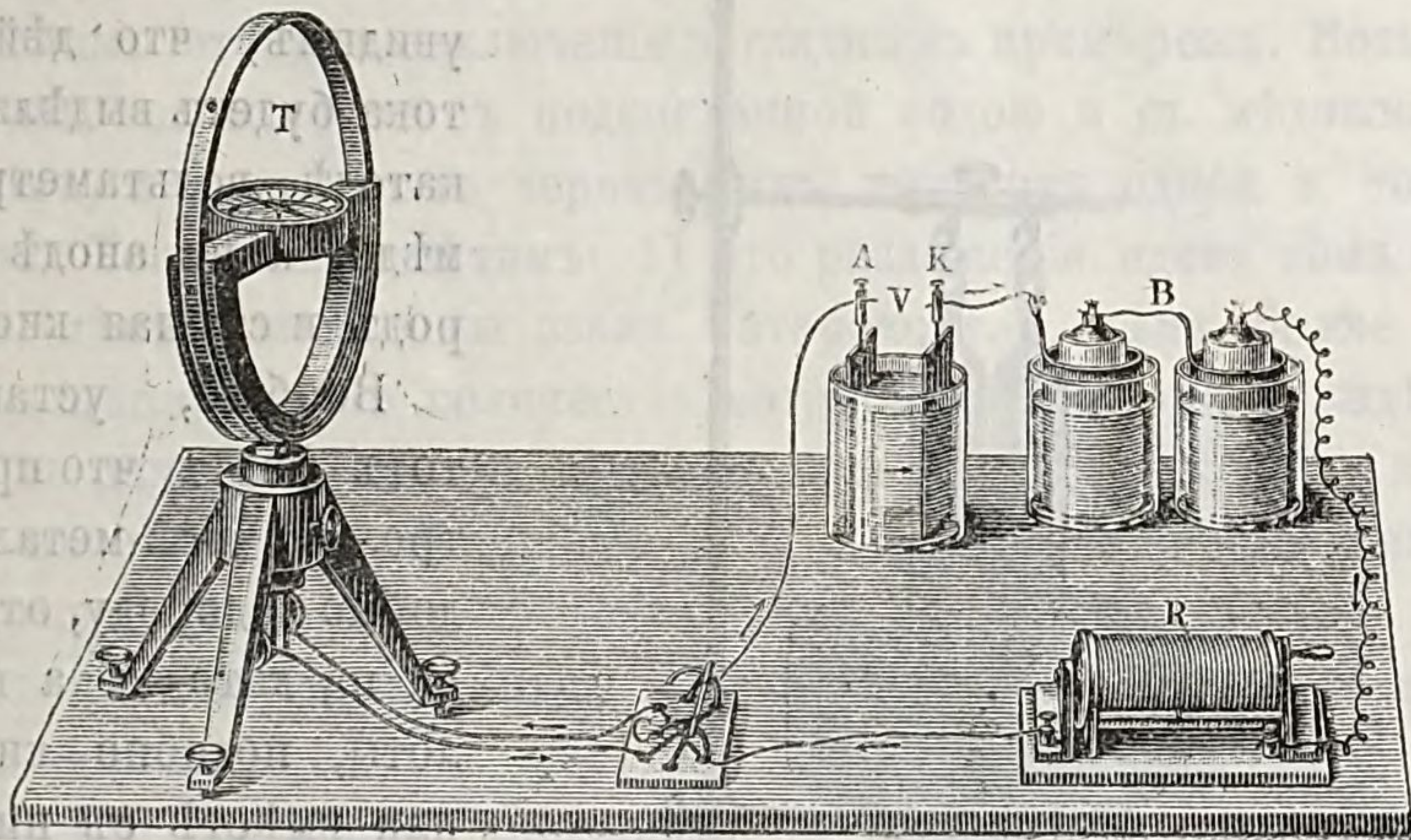


Рис. 60.

кую жидкость, способную разлагаться токомъ; сюда принадлежатъ растворы солей, кислотъ и основаній. Но наиболее типичный примѣръ электролита представляетъ вода, подкисленная сѣрной кислотой; ее-то главнымъ образомъ мы и будемъ имѣть въ виду въ нашей бесѣдѣ.

Нальемъ такой подкисленной воды въ вольтаметръ и замкнемъ нашу цѣпь. Тогда мы замѣтимъ, во первыхъ, что магнитъ гальванометра отклонился и занялъ новое положеніе, свидѣтельствуя тѣмъ, что черезъ цѣпь идетъ нѣкоторый токъ. Но, обращая вниманіе на вольтаметръ, мы увидимъ также, что электроды его покрылись пузырьками газовъ, которые постоянно отдѣляются съ ихъ поверхности. Эти газы мы можемъ собрать отдѣльно, если дадимъ вольтаметру форму, изображенную на *рис. 61*. Здѣсь надъ каждымъ электродомъ опрокинута трубка съ водою, куда и собираются отдѣляющіеся газы. Изслѣдуя ихъ, не трудно убѣдиться, что это—*водородъ* и *кислородъ*, составные элементы воды. Отсюда заключаемъ, что электрический токъ разлагаетъ воду на ея составныя части.

Подобное же явление наблюдается и съ другими электролитами. Возьмемъ, на примѣръ, вмѣсто воды растворъ мѣднаго купороса, который есть соединеніе мѣди съ кислородомъ и сѣрною кислотою. Повторивъ съ нимъ

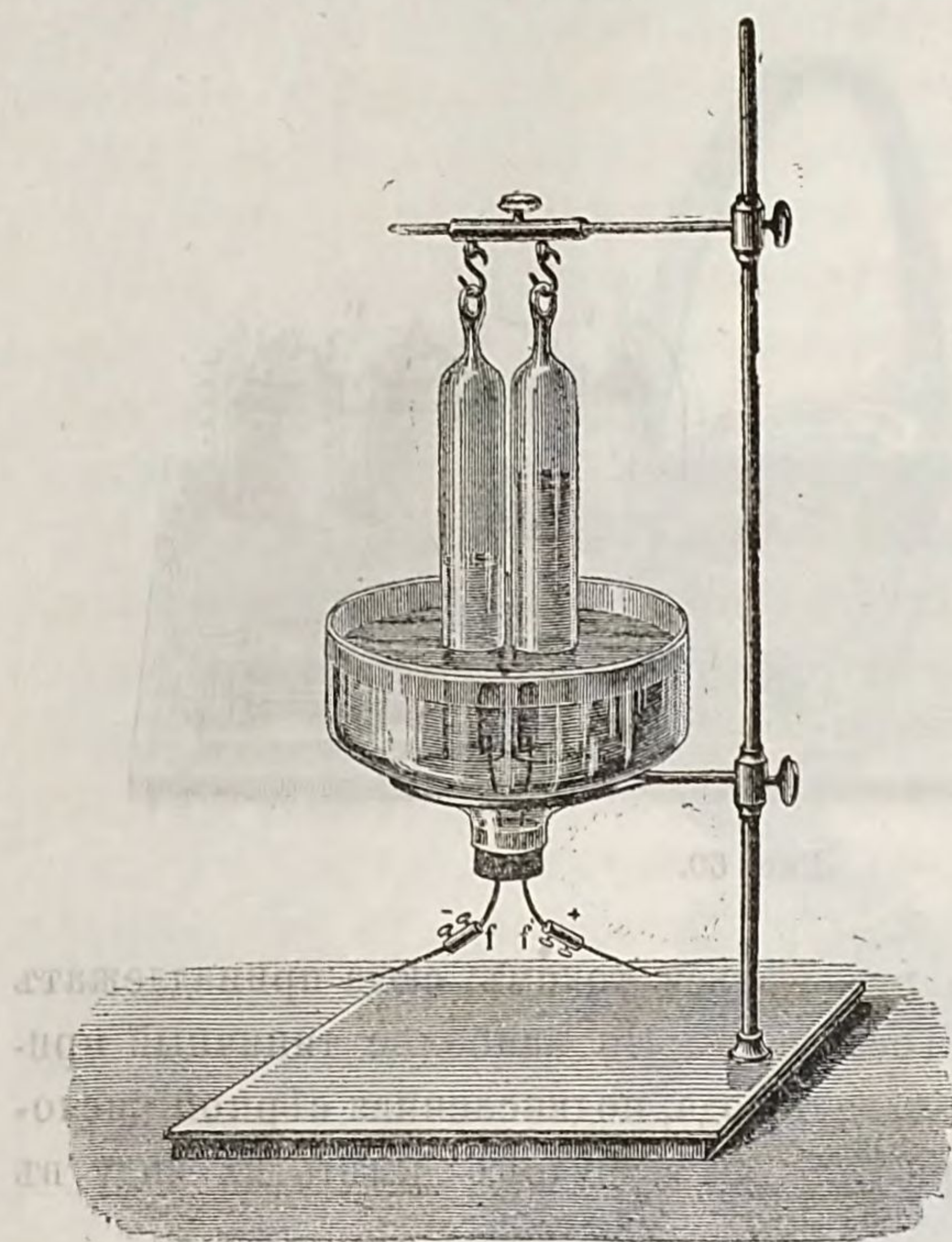


Рис. 61.

вышеописанный опытъ, увидимъ, что дѣйствіемъ тока будетъ выдѣляться на катодѣ вольтметра слой мѣди, а на анодѣ кислородъ и сѣрная кислота.

Вообще, установленъ тотъ фактъ, что при электролизѣ всѣ металлы, подобно водороду, отдѣляются на катодѣ, а всѣ кислоты, подобно кислороду или вмѣстѣ съ нимъ, на анодѣ. Эти продукты электролиза Фарадей вообще назвалъ *іонами*; они будутъ называться электроположительными, если выдѣляются на катодѣ, и электроотрицательными—при выдѣленіи ихъ на анодѣ.

Слѣдуетъ обратить вниманіе на тотъ фактъ, что іоны появляются исключительно на электродахъ, но не гдѣ-либо внутри жидкости. Это значитъ, что разложенію токомъ подвергаются только частицы, непосредственно прилежащія къ электродамъ, тогда какъ вся остальная масса жидкости не испытываетъ никакихъ измѣненій.

Фарадей первый подвергъ обстоятельному изученію явленія электролиза и открылъ для нихъ два закона, носящіе его имя. Вотъ эти законы:

1) Количество іоновъ, выдѣляющееся въ данное время на томъ или другомъ электродѣ, пропорціонально силѣ тока, идущаго черезъ цѣпь.

2) Количества іоновъ, выдѣляемыхъ однимъ и тѣмъ же токомъ изъ различныхъ электролитовъ, находятся между собою въ отношеніи ихъ *химическихъ эквивалентовъ*, т.-е. въ томъ самомъ отношеніи, въ какомъ они соединяются между собою или вытѣсняются другъ друга при химическихъ реакціяхъ.

Пояснимъ эти два заключенія нагляднымъ примѣромъ. Возьмемъ наши два вольтметра съ подкисленной водою и съ мѣднымъ купоросомъ, и пропустимъ черезъ нихъ токъ отъ одной и той же батареи. Тогда мы замѣтимъ: 1) что разложеніе идетъ тѣмъ энергичнѣе, чѣмъ сильнѣе мы взяли батарею, т.-е. чѣмъ болѣе сила тока въ цѣпи; 2) что количества водорода и кислорода, выдѣляющіяся въ данное время въ первомъ вольтметрѣ, находятся между собою въ вѣсовомъ отношеніи 1:8, т.-е. въ отношеніи химическихъ эквивалентовъ этихъ двухъ тѣлъ; 3) что количества водорода въ первомъ вольтметрѣ и мѣди во второмъ относятся между собою, какъ 1:31,5, т.-е. какъ ихъ химическіе эквиваленты; наконецъ, 4) что количества кислорода, выдѣленные въ томъ и другомъ вольтметрѣ на анодѣ, равны между собою.

Изъ перваго закона Фарадея вытекаетъ одно чрезвычайно важное слѣдствіе. Такъ какъ по этому закону разложеніе электролита всегда пропорціонально силѣ тока, то отсюда прямо заключаемъ, что всякій токъ черезъ электролитъ долженъ сопровождаться его разложеніемъ, какъ бы ни была мала сила тока; иначе говоря, пока въ вольтметрѣ нѣтъ разложенія, не можетъ быть и тока. Это значитъ, что жидкости неспособны проводить электричество какъ металлы (безъ разложенія).

Основные факты электролиза весьма просто объясняются остроумной гипотезой, предложенной Гротгусомъ еще въ началѣ нынѣшняго столѣтія. Мы пояснимъ гипотезу на примѣрѣ электролиза воды.

Каждая частица воды, какъ извѣстно, представляетъ соединеніе двухъ атомовъ водорода (H_2) съ однимъ атомомъ кислорода (O). Гротгусъ принимаетъ, что атомы водорода заряжены положительнымъ электричествомъ, а атомъ кислорода—равнымъ количествомъ отрицательнаго. Пока нѣтъ черезъ жидкость тока, молекулы (частицы) ея имѣютъ всевозможныя направленія. Но какъ только токъ пущенъ, сейчасъ же всѣ молекулы поворачиваются и

принимаютъ вполне опредѣленные направленія, какъ указано въ строкѣ *A* нашего схематическаго чертежа (рис. 62): водородные

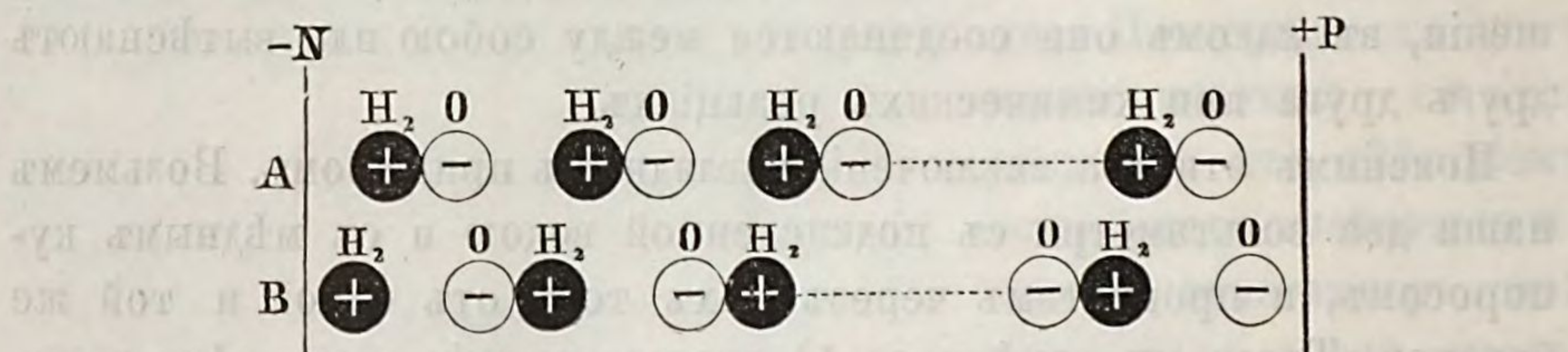


Рис. 62.

концы молекулъ, какъ заряженные положительнымъ электричествомъ, поворачиваются въ сторону отрицательнаго полюса (*N*) или катода, а кислородные концы со своими отрицательными зарядами направляются въ сторону анода (*P*). Принявъ такое положеніе, молекулы будутъ, очевидно, растягиваться въ противоположныя стороны тѣми силами притяженія, какія испытываются ихъ концами со стороны электрическихъ зарядовъ на электролитахъ, и если эти заряды достаточно сильны, то молекула разорвется, т.-е. распадется на свои составные элементы. Такое распаденіе должно постичь одновременно всѣ молекулы, находящіяся на пути тока. Но при этомъ всѣ водородные атомы устремятся въ одну сторону—къ катоду, а кислородные въ сторону противоположную—къ аноду. Атомы молекулъ, непосредственно прилегавшихъ къ названнымъ электродамъ, сдѣлавшись свободными, тотчасъ же и выдѣлятся на нихъ, такъ что на катодѣ получится водородъ (H_2), а на анодѣ кислородъ (O). Во всей же остальной массѣ жидкости выдѣленія не будетъ, ибо водородъ и кислородъ двухъ смежныхъ молекулъ, двигаясь на встрѣчу другъ другу, столкнутся и опять соединятся, образуя молекулы воды (рис. 62, строка *B*). Такимъ образомъ произойдетъ разложеніе воды съ выдѣленіемъ газовъ исключительно на электродахъ.

Гипотеза Гротгуса объясняетъ намъ также просто и Фарадеевы законы электролиза; она была поэтому благосклонно принята физиками и продержалась въ наукѣ, съ небольшими измѣненіями, почти до настоящаго времени.

До сихъ поръ мы обращали наше вниманіе на химическую сторону явленій электролиза. Но здѣсь наблюдается еще одно, чисто

физическое явленіе, имѣющее для насъ важное значеніе: это—*поляризація электродовъ*, о которой позволю себѣ сказать два слова.

Повторимъ прежній опытъ разложенія воды токомъ, и черезъ нѣкоторое время выключимъ батарею изъ цѣпи, замѣнивъ ее металлической проволокой. Мы замѣтимъ, что въ моментъ выключенія гальванометръ отклонится въ сторону, противоположную первоначальному отклоненію, обнаруживая такимъ образомъ въ цѣпи присутствіе тока, обратнаго батарейному.

Причина этого тока лежитъ въ вольтметрѣ, который подъ дѣйствіемъ батареи самъ пріобрѣтаетъ свойство дѣлаться временно гальваническимъ элементомъ. Это свойство вольтметра мы и называемъ *поляризаціею электродовъ*. Поляризація существуетъ лишь весьма недолго и токъ отъ нея весьма быстро убываетъ со временемъ, скоро дѣлаясь обыкновенно совсѣмъ незамѣтнымъ.

Вольтметръ поляризуется благодаря газамъ, выдѣляющимся на его электродахъ, ибо съ удаленіемъ ихъ прекращается и самая поляризація. Во время электролиза поляризація возникаетъ съ перваго же момента замыканія тока, затѣмъ быстро возрастаетъ со временемъ, пока не достигнетъ своей наибольшей величины, послѣ чего остается постоянной, какъ бы мы ни увеличивали силу тока или число элементовъ въ цѣпи. Поляризація дѣйствуетъ всегда въ сторону противоположную батарейному току, поэтому она ослабляетъ его болѣе или менѣе значительно, и онъ можетъ даже совсѣмъ прекратиться при слабой электродвижущей силѣ батареи. Это и дѣйствительно случится съ нашимъ вольтметромъ, если соединить его только съ однимъ элементомъ Даніэля. Токъ, здѣсь наблюдаемый, будетъ весьма быстро ослабѣвать со временемъ, и рано или поздно почти совершенно прекратится. При этомъ на электродахъ незамѣтно ни малѣйшихъ пузырьковъ газа; тѣмъ не менѣе, электроды поляризованы, ибо стоитъ только выключить изъ цѣпи элементъ и замкнуть ее проволокой, какъ въ ней тотчасъ же появляется токъ обратный первоначальному,—токъ, который также очень быстро ослабѣваетъ и скоро дѣлается совсѣмъ незамѣтнымъ. Очевидно, что и здѣсь газы были выдѣляемы токомъ отъ элемента и поляризовали его; но количество ихъ столь ничтожно, что оно не могло быть обнаружено глазомъ.

Мы видимъ такимъ образомъ, что батарея со слабою электро-движущею силой не производитъ замѣтнаго разложенія жидкости, а даетъ лишь мѣсто временному току, который поляризуетъ вольтметръ и потому называется *поляризаціоннымъ*; исключеніе же батареи сопровождается обратнымъ токомъ, также временнымъ, который возвращаетъ вольтметръ въ нейтральное состояніе и потому называется *деполяризаціоннымъ*.

Вольтметръ въ такихъ условіяхъ обнаруживаетъ весьма большую аналогію съ *конденсаторомъ* или лейденской банкой.

Этими именами, какъ извѣстно, называются приборы, служащіе для накопленія большихъ электрическихъ зарядовъ въ тѣлахъ малаго объема. Конденсаторы обыкновенно употребляютъ въ формѣ слюдяныхъ пластинокъ, оклеенныхъ съ обѣихъ сторонъ станіолевыми листами или обкладками. При соединеніи этихъ послѣднихъ съ полюсами элемента, мы наблюдаемъ въ цѣпи токъ, который одну обкладку заряжаетъ положительнымъ электричествомъ, а другую отрицательнымъ. Токъ наблюдается все время, пока совершается зарядъ; но такъ какъ онъ обыкновенно длится чрезвычайно короткое время, то и зарядъ будетъ моментальный. Удаливъ элементъ и замѣнивъ его проволокой, мы замѣтимъ въ цѣпи токъ, обратный первоначальному и вполнѣ равный ему по силѣ, который также длится лишь одинъ моментъ. Этимъ токомъ обкладки конденсатора разряжаются и приводятся въ нейтральное состояніе.

Изъ сказаннаго не трудно заключить о близкой аналогіи вольтметра съ конденсаторомъ, причемъ поляризаціонному току очевидно соотвѣтствуетъ токъ зарядный, а деполяризаціонному—разрядный.

Но при всемъ сходствѣ этихъ приборовъ между ними есть и существенное различіе. Въ конденсаторѣ токи разрядный и зарядный вполнѣ равны между собою и длятся чрезвычайно короткое время; въ вольтметрѣ же поляризаціонный токъ всегда сильнѣе деполяризаціоннаго, ослабѣваетъ не такъ быстро какъ тотъ, и, строго говоря, никогда не прекращается, давая мѣсто слабому остаточному току.

Вотъ въ существенныхъ чертахъ тѣ основные факты изъ области электролиза и гальванической поляризаціи, съ которыми я хотѣлъ ознакомить васъ предварительно, чтобъ облегчить вамъ

пониманіе того, что сдѣлано Гельмгольтцомъ въ этой области. Она уже давно привлекала къ себѣ его вниманіе, и еще въ своемъ первомъ знаменитомъ мемуарѣ «О сохраненіи силы» (энергіи) онъ пытался примѣнить къ ней этотъ законъ. Однако, за недостаткомъ фактическаго матеріала, такая попытка не могла дать серьезныхъ результатовъ. Сдѣлавшись профессоромъ физики въ Берлинѣ, Гельмгольтцъ возвратился къ тому же вопросу и скоро подарилъ намъ новымъ знаменитымъ мемуаромъ: «Ueber galvanische Polarisation in gasfreien Flüssigkeiten» (1873 г.), который произвелъ цѣлый переворотъ въ наукѣ.

Исходя изъ закона сохраненія энергіи и законовъ электролиза, установленныхъ Фарадеемъ, Гельмгольтцъ доказываетъ прежде всего, что разложеніе воды (также какъ и всякаго другаго электролита) возможно лишь при опредѣленныхъ величинахъ электродвижущей силы. Если взята батарея съ электродвижущей силой ниже этого минимальнаго предѣла, то разложеніе совершаться не должно, а слѣдовательно, электролитъ долженъ вести себя какъ изоляторъ.

Разсужденіе Гельмгольца такъ просто, что я приведу его здѣсь въ двухъ словахъ. Пусть вольтметръ съ подкисленной сѣрной кислотой мы соединили съ однимъ элементомъ Даніэля; посмотримъ, возможенъ ли въ этихъ условіяхъ постоянный токъ въ цѣпи. Какъ мы уже говорили, электродвижущая сила этого элемента есть величина постоянная, обусловленная химическою дѣятельностью внутри его. Дѣятельность эта состоитъ въ томъ, что при прохожденіи тока цинкъ на его отрицательномъ полюсѣ растворяется, превращаясь въ цинковый купоросъ, а на положительномъ полюсѣ мѣдный купоросъ разлагается и изъ него выдѣляется мѣдь. Обѣ реакціи идутъ въ эквивалентномъ отношеніи, но первая реакція на каждый граммъ-эквивалентъ ¹⁾ растворившагося цинка выдѣляетъ 53000 калорій ²⁾ тепла, а вторая поглощаетъ 28000 калорій, такъ что являются свободными 25000 калорій, которыя и могутъ быть употреблены на внѣшнюю работу. Въ нашемъ случаѣ эта работа состоитъ въ разложеніи воды. Согласно съ законами Фа-

¹⁾ Граммъ-эквивалентъ—количество вещества, химически эквивалентное 1 грамму водорода (для цинка 32,5 грамма).

²⁾ Калорія— количество тепла, потребное для нагрѣванія одного грамма воды на 1° Ц.

радея, на каждый эквивалентъ раствореннаго въ элементѣ цинка, въ вольтметрѣ долженъ разложиться одинъ эквивалентъ воды; а эта реакція требуетъ поглощенія 34500 калорій, которыя и должны быть доставлены элементомъ. Такъ какъ однако одинъ элементъ Даніэля можетъ доставить только 28000 калорій, то прямо заключаемъ, что онъ не въ состояніи разложить воду на ея составные элементы. Такое разложеніе можетъ произвести батарея, электродвижущая сила которой не менѣе $34500:25000$, или 1,4 Даніэля.

Но если это такъ, если для начала разложенія всякаго электролита потребна извѣстная электродвижущая сила, то откуда же токъ въ вольтметрѣ, наблюдаемый при его соединеніи съ элементомъ произвольно-малой электродвижущей силы? Что такое поляризація электродовъ въ этомъ случаѣ, если на нихъ не будутъ выдѣляться газы?

Въ цитированной выше первой работѣ своей объ электролизѣ, Гельмгольтцъ не даетъ сразу отвѣта на эти существенные вопросы, но обращаетъ свое вниманіе на слѣдующую сторону явленія. Онъ спрашиваетъ себя: не долженъ ли вольтметръ съ подкисленной водою вести себя какъ совершенный конденсаторъ, при электродвижущихъ силахъ, неспособныхъ произвести разложеніе воды; замѣчаемая же въ немъ отступленія отъ конденсатора не должны ли происходить отъ участія въ явленіи побочныхъ, намъ еще неизвѣстныхъ явленій? Этотъ вопросъ Гельмгольтцъ блистательно рѣшилъ въ утвердительномъ смыслѣ, доказавъ, что побочные процессы, постоянно поддерживающіе токъ въ цѣпи, дѣйствительно существуютъ, и что они обусловлены присутствіемъ въ жидкости, или на электродахъ, газовъ—кислорода или водорода.

Въ доказательство своей мысли, Гельмгольтцъ производитъ слѣдующіе опыты:

1. Изъ вольтметра, которому на этотъ разъ даютъ форму, показанную на *рис. 63*, въ теченіе долгаго времени выкачивается воздухъ; затѣмъ снарядъ запаивается вверху и подвергается дѣйствію одного Даніэля. Оказывается, что такой вольтметръ ведетъ себя почти такъ, какъ конденсаторъ: онъ заряжается почти моментально, и затѣмъ остаточный токъ едва замѣтенъ; при разрядѣ наблюдается также почти моментальный токъ, едва уступающій въ

въ силѣ току зарядному. Но стоитъ только впустить въ снарядъ воздухъ и взболтать жидкость—и вольтметръ пріобрѣтаетъ свои прежнія свойства.

2. Выкачиваютъ изъ вольтметра воздухъ и насыщаютъ его кислородомъ или водородомъ. Соединивъ его въ такомъ видѣ съ Даніэлемъ, мы замѣчаемъ, что вольтметръ, насыщенный кислородомъ, почти ничѣмъ не разнится отъ обыкновеннаго вольтметра съ воздухомъ. Вольтметръ съ водородомъ обнаруживаетъ тѣ же свойства, но въ гораздо болѣе рѣзкой степени: именно, зарядный токъ весьма скоро дѣлается постояннымъ и со временемъ почти не мѣняется, разрядный же токъ почти не существуетъ; такъ что вольтметръ потерялъ способность поляризоваться.

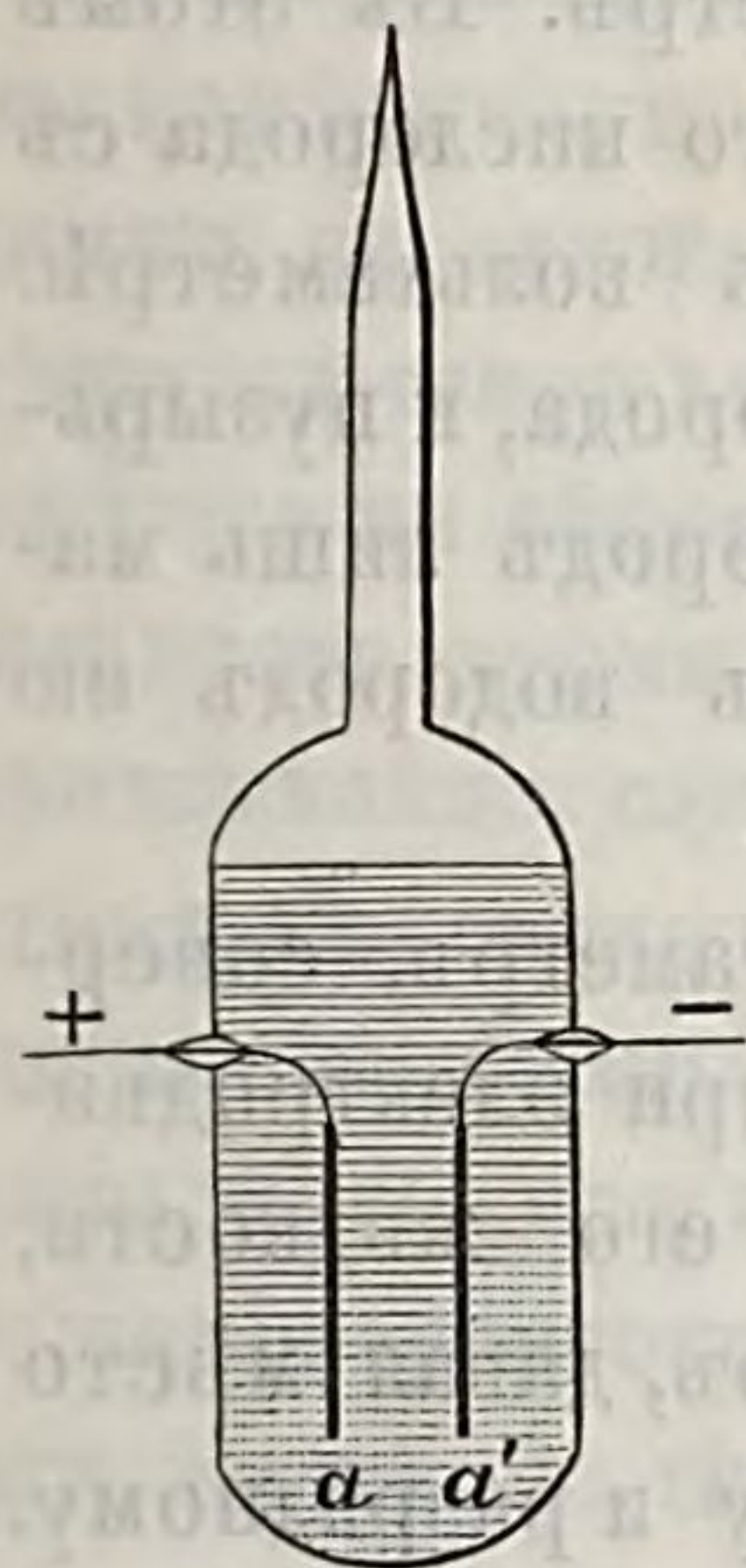


Рис. 63.

Мало того: Гельмгольтцъ наблюдаетъ въ этомъ вольтметрѣ еще одно явленіе, которое уяснило ему причину такого вліянія газовъ на поляризацию вольтметра. Именно, онъ замѣтилъ, что въ вольтметрѣ, насыщенномъ водородомъ, при замыканіи тока начинается усиленное отдѣленіе пузырьковъ газа, очевидно—водорода; это отдѣленіе съ теченіемъ времени ослабѣваетъ и наконецъ совсѣмъ прекращается; только послѣ этого вольтметръ и начинаетъ замѣтнымъ образомъ поляризоваться. Но если теперь хорошенько встряхнуть снарядъ или перемѣнить соединеніе электродовъ съ полюсами батареи, то опять начинается энергическое выдѣленіе пузырьковъ газа на катодѣ.

Явленіе это Гельмгольтцъ объяснилъ переносомъ, подъ дѣйствіемъ тока, водорода съ анода на катодъ. Процессъ этотъ будетъ сопровождаться вмѣстѣ съ тѣмъ и переносомъ положительнаго электричества, которымъ заряженъ водородъ, на отрицательный полюсъ,—т.-е. электрическимъ токомъ. Такой токъ долженъ существовать, пока на анодѣ существуетъ свободный водородъ. Отсюда понятно, что современемъ отдѣленіе пузырьковъ на катодѣ прекращается, а вмѣстѣ съ тѣмъ токъ ослабѣваетъ. Совершенно прекратиться онъ однако же не можетъ, ибо съ катода водородъ переходитъ въ жидкость, а изъ нея опять распространяется до

анода, гдѣ и подвергается снова переносу. Явленіе это Гельмгольтцъ называлъ *электрической конвекціей*, а самый токъ, ею обусловленный, — *конвекціоннымъ токомъ*.

Все, что сказано было сейчасъ о водородѣ, вполне приложимо и къ кислороду, когда онъ находится въ вольтаметрѣ. Въ этомъ случаѣ происходитъ переносъ электроотрицательнаго кислорода съ катода на анодъ, чѣмъ и поддерживается токъ въ вольтаметрѣ. Явленіе наблюдается слабѣе, чѣмъ въ случаѣ водорода, и пузырьковъ газа не замѣтно на анодѣ, — оттого что кислородъ лишь мало поглощается платиной электродовъ, тогда какъ водородъ ею поглощается въ значительномъ количествѣ.

Изъ всего вышесказаннаго слѣдуетъ, что вольтаметръ, совершенно освобожденный отъ постороннихъ газовъ, при электродвижущихъ силахъ, недостаточныхъ для разложенія его жидкости, долженъ вести себя какъ совершенный конденсаторъ, давая мѣсто лишь весьма кратковременнымъ токамъ — зарядному и разрядному.

Установивши этотъ фактъ въ выше цитированной работѣ, Гельмгольтцъ переходитъ затѣмъ въ послѣдующихъ своихъ работахъ къ объясненію основнаго явленія — конденсаторныхъ свойствъ вольтаметра. Мы сейчасъ [сказали, что вольтаметръ подѣйствіемъ электродвижущихъ силъ, недостаточныхъ для электролиза жидкости, заряжается и разряжается какъ конденсаторъ. Но является опять вопросъ: какимъ образомъ это возможно, разъ токъ не можетъ идти черезъ вольтаметръ безъ разложенія, котораго здѣсь быть не можетъ? Гельмгольтцъ пришелъ скоро къ заключенію, что разрѣшить этотъ вопросъ можно только однимъ способомъ: изменивши совершенно наши представленія о сущности химическаго соединенія и силъ химическаго сродства.

По теперешнимъ нашимъ воззрѣніямъ, химическая молекула даннаго соединенія есть нѣчто цѣлое, нераздѣльное, пока существуетъ самое соединеніе. Входящіе въ нее разнородные атомы сдерживаются таинственными силами химическаго сродства, о которыхъ мы ровно ничего не знаемъ. При разложеніи соединенія, молекула распадается, и та работа, которую мы при этомъ затрачиваемъ, идетъ на преодоленіе этихъ силъ.

Совсѣмъ иное представленіе составилъ себѣ Гельмгольтцъ о молекулахъ. По его мнѣнію, всякое химическое соединеніе, напр.

вода, есть лишь совокупность чрезвычайно равномерно перемѣшанныхъ электроположительныхъ и электроотрицательныхъ іоновъ, (въ нашемъ примѣрѣ—водорода и кислорода). Между ними нѣтъ никакихъ иныхъ силъ, кромѣ притяженій и отталкиваній ихъ электрическихъ зарядовъ. Но такъ какъ тѣ и другіе іоны весьма равномерно перемѣшаны, то притяженія и отталкиванія, производимыя на какой-либо атомъ внутри соединенія, взаимно уравновѣшиваются, и атомъ является совершенно свободнымъ, какъ еслибы на него не дѣйствовали никакія силы. На этомъ основаніи внутри жидкости атомы могутъ легко перемѣщаться подѣ дѣйствіемъ даже чрезвычайно слабыхъ внѣшнихъ силъ. Но въ чемъ же тогда состоитъ разложеніе соединенія, если атомы его и безъ того совершенно свободны? Они свободны, но заряжены электричествомъ—одни положительнымъ, а другіе отрицательнымъ, и процессъ разложенія состоитъ лишь въ томъ, что мы *отнимаемъ у атомовъ ихъ заряды* и дѣлаемъ атомы нейтральными. Работа разложенія тратится, слѣдовательно, исключительно на это приведеніе различныхъ іоновъ въ нейтральное состояніе.

Но здѣсь опять возникаетъ вопросъ: почему для разряда іоновъ нужна работа? Гельмгольтцъ объясняетъ это, принимая, что различные химическіе элементы притягиваютъ противоположныя электричества въ различной степени. Такъ напр., водородъ сильнѣе притягиваетъ положительное электричество чѣмъ отрицательное, а кислородъ — сильнѣе отрицательное чѣмъ положительное. Но разрядить какое-либо положительно - заряженное тѣло значитъ отнять у него половину этого положительнаго заряда и въ замѣнъ того сообщить столько же отрицательнаго; подобное же замѣчаніе относится и къ разряду отрицательно-заряженнаго тѣла. На этомъ основаніи для разряда положительно-заряженнаго водорода, очевидно, потребуется затрата нѣкоторой работы, ибо онъ на положительный (отнимаемый) зарядъ оказываетъ большее притяженіе, чѣмъ на отрицательный (сообщаемый). Точно также на разрядъ отрицательно-заряженнаго кислорода потребуется также нѣкоторая работа. Если мы теперь примемъ, что во всякомъ соединеніи составляющіе іоны заряжены тѣмъ электричествомъ, къ которому они имѣютъ большее притяженіе, то тогда работа раз-

ложенія будетъ дѣйствительно состоятъ въ приведеніи заряженныхъ іоновъ въ нейтральное состояніе.

Но возникаетъ сомнѣніе: можно ли такія мощныя силы, какими являются намъ силы химическаго сродства, объяснить слабыми притяженіями между электрическими зарядами іоновъ, напр. между зарядами водорода и кислорода въ водѣ? Однако, сомнѣніе это падетъ само собою, если мы примемъ во вниманіе громадность такихъ зарядовъ. Въ самомъ дѣлѣ, разложимъ одинъ миллиграммъ воды и соберемъ все положительное электричество съ водородныхъ атомовъ на одну сферу, а все отрицательное электричество съ кислородныхъ атомовъ—на другую. Если мы эти двѣ сферы поставимъ на разстояніи одного километра, то онѣ будутъ притягиваться между собою съ силою, равною вѣсу 100000 килограммовъ! Эта сила въ 400000 билліоновъ разъ превышаетъ ту силу, какая дѣйствуетъ между двумя данными массами водорода и кислорода вслѣдствіе ихъ взаимнаго тяготѣнія (Ньютонова всемірнаго тяготѣнія).

Такимъ образомъ Гельмгольцова теорія химическаго соединенія замѣняетъ таинственныя силы химическаго сродства столь же таинственными силами избирательнаго сродства различныхъ химическихъ элементовъ къ положительному и отрицательному электричествамъ. Въ этой замѣнѣ еще нѣтъ повидимому никакой заслуги или преимущества. Однако Гельмгольцова теорія имѣетъ то громадное преимущество предъ другими, что она совершенно легко и непринужденно объясняетъ всѣ извѣстныя явленія электролиза и поляризаціи.

Дѣйствительно, вообразимъ себѣ, что одинъ элементъ Даніэля замкнутъ черезъ вольтметръ съ подкисленной водою. Въ моментъ замыканія водородные атомы, какъ совершенно свободные, будучи заряжены положительнымъ электричествомъ, направятся въ сторону катода, покроютъ его тонкимъ слоемъ и нейтрализуютъ его дальнѣйшее притягательное дѣйствіе на оставшіеся въ жидкости атомы. То же самое случится съ атомами кислорода, заряженными отрицательно, которые устремятся къ аноду и, образовавъ здѣсь тонкій слой, также нейтрализуютъ дальнѣйшее дѣйствіе анода на жидкость. Но, покрывши электроды тонкими слоями, водородъ и кислородъ не отдадутъ имъ своихъ зарядовъ, ибо притягиваютъ ихъ сильнѣе, чѣмъ эти заряды притягиваются заряженными элек-

тромами. Если, однако, мы будемъ увеличивать электродвижущую силу нашего элемента, то заряды электродовъ также будетъ возрастать, и мы рано или поздно достигнемъ того предѣла, когда сила притяженія электродовъ на заряды прилегающихъ къ нимъ водорода и кислорода сравняются съ притяженіями этихъ послѣднихъ на свои заряды. Съ этого времени электролизъ уже дѣлается возможнымъ: водородъ и кислородъ будутъ отдавать свои заряды электродамъ, а сами, сдѣлавшись нейтральными, будутъ подниматься на поверхность жидкости въ видѣ пузырьковъ. Ихъ мѣсто сейчасъ же будетъ занято другими, еще заряженными атомами изъ жидкости, которые постигнетъ та же участь, и т. д.

Такимъ образомъ, по этой теоріи электролизъ можетъ наступить только при извѣстной электродвижущей силѣ батареи; до тѣхъ же поръ будетъ имѣть мѣсто только покрытіе электродовъ слоями разнородныхъ іоновъ. Разъ покрытіе совершилось, іоны вполнѣ нейтрализовали дѣйствіе электродовъ на остальную массу жидкости, и токъ долженъ прекратиться: вольтметръ поляризовался. Но удалимъ элементъ, оставивъ вольтметръ замкнутымъ металлически. Противоположныя электричества, заряжавшія электроды вольтметра, не будучи болѣе удерживаемы электродвижущею силою элемента, потекутъ чрезъ проволоку навстрѣчу другъ другу, производя деполяризаціонный токъ, который будетъ вполнѣ равенъ поляризаціонному. Въ это же время внутри жидкости разнородные іоны, не будучи болѣе удерживаемы на поверхности электродовъ притягивавшими ихъ электричествами, удалятся снова внутрь жидкости, равномерно распредѣляясь въ ней. Отъ этого происходитъ токъ внутри жидкости, равный съ тѣмъ токомъ во внѣшней части цѣпи, о которомъ сейчасъ было говорено.

Вотъ въ существенныхъ чертахъ теорія электролиза и поляризаціи, опубликованная Гельмгольцомъ въ 1880 г. Теорія эта объясняетъ, какъ я сказалъ, главнѣйшіе факты явленій, и притомъ объясняетъ ихъ совершенно просто и непринужденно.

Однако совершенство—не удѣлъ ума смертнаго, хотя бы и самаго гениальнаго. Теорія Гельмгольца требуетъ, чтобъ электролизъ всякой жидкости начинался лишь при вполнѣ определенной электродвижущей силѣ, напр. для воды при 1,4 Даніэля. Есть факты, противорѣчащіе этому. Я не стану перечислять ихъ; самъ Гельм-

гольтцъ зналъ ихъ, конечно, лучше чѣмъ кто-либо иной, и сознавалъ этотъ недостатокъ своей теоріи. Онъ старался устранить затрудненіе, придумывая новые побочные процессы въ вольтаметрѣ.

Старался, но не долго: гениальный умъ созналъ окончательно неполноту своей теоріи, снова принялся за работу и скоро подарилъ науку открытіемъ *принципа свободной энергіи*.

Съ точки зрѣнія этого принципа, нѣтъ предѣла для электролиза: онъ долженъ совершаться всегда и во всѣхъ условіяхъ опыта. Падаеть слабая сторона старой теоріи, а новая теорія является передъ нами болѣе совершенною, въ полной гармоніи съ извѣстными фактами, и даже предсказываетъ новые факты.

Попытаюсь дать вамъ понятіе объ основѣ этой новой теоріи Гельмгольца, — о принципѣ свободной энергіи, — въ надеждѣ, что даже поверхностное знакомство съ нимъ позволитъ вамъ уразумѣть и чрезвычайную важность его для науки, и мощный геній его творца.

Принципъ свободной энергіи опредѣляетъ условія превращенія химической или молекулярной энергіи въ работу, — подобно тому, какъ въ термодинамикѣ законъ Карно ставитъ условія для превращенія тепловой энергіи въ работу. Разсматриваемый принципъ есть, слѣдовательно, распространеніе закона Карно, въ его измѣненной формѣ, на химическіе и молекулярные процессы. Вмѣстѣ съ закономъ сохраненія энергіи онъ долженъ лечь въ основу всей термохиміи, подобно тому какъ самый законъ Карно лежитъ въ основѣ всей термодинамики.

Этотъ послѣдній законъ устанавливаетъ, какъ извѣстно, существенное различіе между превращеніями работы въ теплоту и обратными превращеніями теплоты въ работу. Данную работу мы всегда можемъ цѣликомъ и безъ остатка превратить въ теплоту, но обратный переходъ теплоты въ работу никогда не бываетъ полнымъ. Во всѣхъ нашихъ термическихъ машинахъ только *часть* затраченной теплоты утилизируется, какъ полезная работа; остальная же часть теряется на нагрѣваніе холодильника и машины, безо всякой для насъ пользы.

Въ такомъ отношеніи находятся между собою *работа* и *тепловая энергія*. Подобное же соотношеніе между *работой* и *химической энергіей* устанавливаетъ принципъ свободной энергіи Гельм-

гольтца. И здѣсь мы должны полную энергію химическихъ реакцій раздѣлять на двѣ части: одна часть способна всецѣло превратиться, въ работу, а слѣдовательно и во всякую иную форму энергіи; другая же часть къ такому превращенію *не* способна и проявляется только въ видѣ теплоты. Первую Гельмгольцъ весьма мѣтко называлъ *свободной* энергіей, вторую—*несвободной* или связанной.

Свободная энергія обладаетъ еще однимъ замѣчательнымъ свойствомъ.

Возьмемъ произвольное число какихъ-либо химическихъ тѣлъ простыхъ или сложныхъ, и смѣшавъ ихъ между собою, предоставимъ самимъ себѣ, заботясь только о томъ, чтобы температура ихъ оставалась все время неизмѣнною. Между этими разнородными тѣлами, въ силу химическихъ взаимодействій, возникнутъ весьма разнообразныя химическія реакціи, въ результатѣ которыхъ образуются новыя соединенія, распадутся старыя, одни элементы вытѣснятъ другіе и станутъ на ихъ мѣсто, и пр. Комплексъ всѣхъ этихъ явленій мы назовемъ однимъ именемъ: химическая реакція. Въ теченіе ея какъ полная энергія всей системы нашихъ тѣлъ, такъ и ея составныя части—энергіи свободная и несвободная, будутъ измѣняться. При этомъ оказывается, что полная энергія и ея несвободная часть могутъ измѣняться въ ту или другую сторону, увеличиваясь или уменьшаясь, смотря по обстоятельствамъ опыта. Но *свободная* энергія измѣняется всегда только въ одномъ направленіи: она *непрерывно убываетъ*. При всякой реакціи, разъ она идетъ сама собою, свободная энергія должна убывать и будетъ убывать, пока не достигнетъ, возможнаго для нея въ условіяхъ опыта, минимума. Пока она его не достигла, реакція не можетъ прекратиться; разъ минимумъ наступилъ, реакція не можетъ идти дальше, и весь процессъ останавливается.

Спеціалисты по химіи уже отсюда видятъ всю важность этого свойства свободной энергіи для ихъ науки. Этимъ свойствомъ всецѣло рѣшается въ принципѣ основной вопросъ химической статики: какія соединенія и въ какомъ количествѣ должны получиться въ концѣ данной реакціи? Я не имѣю, къ сожалѣнію, времени долѣе останавливаться на этомъ вопросѣ; замѣчу только мимоходомъ, что извѣстный въ химіи «принципъ наибольшей работы», установленный Бертело, долженъ быть истолкованъ теперь въ

смыслъ принципа свободной энергіи; толкованіе же, данное самимъ Бертелло, вообще невѣрно.

Теперь обратимся къ другой задачѣ: выяснимъ взаимныя отношенія между частями полной энергіи—энергіею свободной и несвободной.

Понятное дѣло, что безъ помощи математическаго анализа невозможно приступить къ этой задачѣ въ общемъ случаѣ; поэтому придется ограничиться только иллюстраціей на одномъ частномъ примѣрѣ. Для этой цѣли я выберу случай, насъ теперь наиболѣе интересующій: образованіе воды черезъ соединеніе кислорода съ водородомъ.

Здѣсь мы имѣемъ случай химической реакціи, которая идетъ сама собою, разъ соблюдены извѣстныя условія опыта. Полная энергія этой реакціи есть теплота, развивающаяся при образованіи соединенія безо всякой внѣшней работы; она, какъ мы видѣли раньше, равна 34500 калоріямъ на каждый граммъ водорода. Если бы мы стали производить опытъ соединенія кислорода съ водородомъ, давая этимъ газамъ различную плотность, то оказалось бы, что во всѣхъ случаяхъ полная энергія реакціи ихъ соединенія была бы одна и та же; т.-е. полная энергія не зависитъ отъ плотности соединяющихся газовъ.

Но не такъ обстоитъ дѣло съ ея отдѣльными частями, энергіей свободной и несвободной. Кромѣ температуры, при которой производится опытъ, онѣ зависятъ еще и отъ плотностей газовъ, именно слѣдующимъ образомъ. Свободная энергія, оставаясь всегда положительною, постоянно возрастаетъ съ возрастаніемъ плотности и можетъ достигъ любой величины. Отсюда прямо слѣдуетъ, что несвободная энергія должна при этомъ убывать, ибо полный итогъ энергіи долженъ оставаться постояннымъ.

Посмотримъ, какія послѣдствія вытекаютъ отсюда.

Возьмемъ наши газы, кислородъ и водородъ, съ такими плотностями, при которыхъ полная энергія состоитъ только изъ одной свободной ея части, и слѣдовательно несвободная равна нулю. Такія плотности мы назовемъ нормальными. Помѣстимъ газы въ отдѣльныя трубки надъ электродами вольтаметра и замкнемъ его металлической проволокой. Такъ какъ газы поляризуютъ электроды, то въ вольтаметрѣ явится токъ, вслѣдствіе котораго эти газы

будутъ соединяться, образуя воду, и слѣдовательно количество ихъ со временемъ будетъ убывать. Но мы можемъ всегда расположить опытъ такъ, чтобы, несмотря на то, плотность ихъ оставалась неизмѣнною; тогда и сила тока не будетъ мѣняться со временемъ. Нашъ вольтметръ представляетъ въ этихъ условіяхъ гальваническій элементъ, т.-е. машину, превращающую химическую энергію въ работу (въ нашемъ случаѣ—въ энергію электрическаго тока). Но къ такому превращенію, какъ мы видѣли, способна только свободная энергія; въ нашемъ же случаѣ несвободной энергіи совсѣмъ нѣтъ, и слѣдовательно здѣсь вся энергія химической реакціи будетъ всецѣло превращаться въ работу. Электродвижущая сила этого элемента, которая служитъ мѣрою свободной энергіи, будетъ въ этихъ условіяхъ равна 1,4 Даніэля.

Теперь разрѣдимъ въ извѣстномъ отношеніи наши газы, кислородъ и водородъ, и произведемъ снова тотъ же опытъ. Мы увидимъ, что здѣсь уже электродвижущая сила нашего элемента-вольтметра уменьшится противъ прежней величины. Уменьшеніе это произойдетъ оттого, что плотность газовъ на электродахъ стала меньше, вслѣдствіе чего нѣкоторая часть всей энергіи является въ несвободной формѣ, и слѣдовательно свободная энергія должна уменьшаться. При замыканіи вольтметра проволокой только эта энергія превратится въ энергію электрическаго тока, тогда какъ несвободная превратится въ теплоту, которая и нагрѣетъ нашъ вольтметръ. Электродвижущая сила вольтметра въ этомъ случаѣ будетъ менѣе 1,4 Даніэля.

Описаннымъ способомъ мы можемъ идти дальше, все болѣе и болѣе уменьшая плотность нашихъ газовъ. Тогда свободная энергія будетъ также все болѣе и болѣе уменьшаться, а несвободная—соотвѣтственно увеличиваться. вмѣстѣ съ тѣмъ электродвижущая сила тока въ вольтметрѣ будетъ ослабѣвать, но зато непосредственное нагрѣваніе его будетъ увеличиваться. Мы можемъ дойти такимъ образомъ до такихъ предѣльныхъ разрѣженій обоихъ газовъ, при которыхъ свободная энергія сдѣлается равной нулю, а несвободная сравняется съ полной энергіей. Въ этихъ условіяхъ электродвижущая сила нашего поляризованнаго вольтметра обращается въ нуль, и слѣдовательно тока въ немъ не будетъ, хотя онъ и замкнутъ; но при этомъ

не будет и самага соединенія газовъ, ибо свободная энергія достигла своего возможнаго минимума—нуля.

Итакъ, при нѣкоторыхъ предѣльныхъ плотностяхъ газы теряютъ способность соединяться, остаются диссоціированными, и вода всегда должна содержать въ себѣ нѣкоторое количество такихъ газовъ.

Вернемся теперь опять къ случаю, когда газы на электродахъ вольтметра имѣли нормальныя плотности. Будемъ, исходя отсюда, увеличивать постепенно плотности этихъ газовъ. Здѣсь мы придемъ къ результатамъ, существенно отличающимся отъ предыдущихъ. До сихъ поръ вольтметръ представлялъ изъ себя машину, превращавшую только часть всей энергіи въ работу, тогда какъ остальная часть энергіи являлась въ формѣ теплоты. Теперь же, когда газы будутъ уплотнены противъ нормальныхъ плотностей, свободная энергія сдѣлается болѣе чѣмъ полная, а слѣдовательно несвободная энергія будетъ отрицательна; это значитъ, электродвижущая сила вольтметра въ этихъ условіяхъ станетъ болѣе чѣмъ нормальная (1,4 Даніэля), и нашъ вольтметръ, при замыканіи тока, начнетъ *охлаждаться*. Теперь онъ уже представляетъ изъ себя машину, превращающую въ работу не только всю химическую энергію реакціи, но также и часть теплоты окружающей среды. И размѣръ этой части будетъ тѣмъ больше, чѣмъ газы были взяты плотнѣе.

Вы видите отсюда все различіе между тепловой формой энергіи и химической. Теплота, какъ учитъ законъ Карно, всегда только отчасти превращается въ работу, химическая же энергія превращается въ работу—или тоже только отчасти, или вся цѣликомъ, или даже и теплоту окружающей среды можетъ заставить переходить въ работу. Все зависитъ отъ состоянія тѣлъ, участвующихъ въ химической реакціи. Мы должны поэтому самымъ рѣшительнымъ образомъ протестовать противъ наклонности нѣкоторыхъ ученыхъ (напр. Оствальда, Брауна и др.) разсматривать химическую энергію, какъ будто бы она была одного порядка съ тепловою.

Послѣ всѣхъ сдѣланныхъ разъясненій легко понять, что электролизъ воды долженъ совершаться *при всякой электродвижущей силѣ* элемента, какъ бы мала она ни была. Въ самомъ дѣлѣ, во-

образимъ себѣ, что мы дѣйствуемъ на вольтаметръ однимъ Даніэлемъ, который по прежней теоріи Гельмгольца, не могъ разлагать воды. По теперешней теоріи электродвижущая сила поляризаціи вольтаметра, которую долженъ преодолевать намъ Даніэль, зависитъ отъ плотности свободныхъ газовъ на электродахъ; а такъ какъ въ первый моментъ замыканія—ихъ тамъ еще нѣтъ, то нѣкоторое количество жидкости непременно должно разложиться. Это разложеніе будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока выдѣлившіеся на электродахъ газы, кислородъ и водородъ, не поляризуютъ вольтаметръ настолько, что его электродвижущая сила сдѣлается равною Даніэлю. Такъ какъ она притомъ дѣйствуетъ въ противоположную ему сторону, то съ этого момента токъ въ цѣпи, а вмѣстѣ съ нимъ и дальнѣйшее разложеніе воды, должны были бы прекратиться. На самомъ дѣлѣ, полного прекращенія тока однако не случается. Газы, кислородъ и водородъ, выдѣлившіеся на электродахъ, не остаются тамъ, но постепенно распространяются въ жидкости, а оттуда переходятъ и въ воздухъ. Вслѣдствіе удаленія съ электродовъ, плотность ихъ здѣсь уменьшается, а слѣдовательно уменьшится и электродвижущая сила поляризаціи вольтаметра. Оттого сдѣлается возможнымъ новое разложеніе жидкости, пока не наступитъ снова равновѣсіе, которое черезъ нѣкоторое время опять нарушится, и т. д. безъ конца.

Я не стану болѣе утомлять васъ развитіемъ подробностей этой новой теоріи электролиза. Скажу только, что всѣ существенныя заключенія Гельмгольца провѣрилъ на опытѣ и нашелъ достаточное согласіе.

Въ заключеніе замѣчу, что принципомъ свободной энергіи прежняя теорія электролиза измѣняется лишь въ одномъ существенномъ пунктѣ, о которомъ сейчасъ была рѣчь; во всѣхъ же остальныхъ пунктахъ она остается неизмѣнною, также какъ и теорія сущности химическаго соединенія, которая принципомъ свободной энергіи совсѣмъ и не затрогивается.

Можетъ быть, вы спросите: какъ отнеслись современные химики и физики къ ученію Гельмгольца, существеннымъ образомъ измѣняющему наши коренныя воззрѣнія на сущность химическаго соединенія и электролиза? Я скажу: до сихъ поръ довольно холодно. Почему же такъ? На это позволю себѣ отвѣтить словами само-

го Гельмгольца, который въ своей рѣчи, посвященной памяти Фарадея, такъ высказался объ этомъ другомъ великомъ геніи нашего вѣка. «Въ примѣненіи къ нему (т.-е. Фарадею) можно думать, что великіе благодѣтели человѣчества не всегда находятъ себѣ признаніе въ современникахъ за свои самыя лучшія творенія, и что новыя идеи обыкновенно тѣмъ труднѣе пробиваются себѣ путь, чѣмъ болѣе въ нихъ содержится самобытнаго, и чѣмъ глубже тотъ переворотъ, который онѣ способны произвести въ наукѣ».

Пройдутъ десятки лѣтъ—и, несомнѣнно, великія идеи Гельмгольца будутъ поняты и оцѣнены по достоинству, какъ это случилось теперь съ идеями Фарадея. Имя Гельмгольца еще болѣе возвеличится, а «свободная энергія» составитъ одинъ изъ лучшихъ цвѣтковъ въ вѣнцѣ его безсмертной славы.

А. Соколовъ.

VIII. З а к л ю ч е н і е.

Мм. Гг.

Мы кончили нашъ посильный трудъ. Благодаримъ васъ за участіе къ нашему дѣлу. Быть можетъ, мы утомили васъ, стараясь дать сколько нибудь точное представленіе о плодотворной и многосторонней дѣятельности Гельмгольца. Мы были возможно кратки; но такова обширность темы, что и теперь, къ концу третьяго вечера нашихъ задлившихся бесѣдъ, многое осталось не высказаннымъ.

Мы желали поставить на первый планъ тѣ прямыя и окончательныя пріобрѣтенія науки, которыми мы обязаны Гельмгольтцу; мало и изрѣдка намекали мы на то, что развито другими на путяхъ, имъ проложенныхъ; оставили вовсе въ сторонѣ то, что рисуется лишь въ первыхъ намекахъ, какъ дальнѣйшее обобщеніе, котораго еще не можетъ вполне гарантировать современная наука. Сколько разъ хотѣлось каждому изъ насъ послѣдовать за нашимъ авторомъ и въ эти еще болѣе обширныя сферы; сколько разъ являлось искушеніе прочесть ту или другую изъ тѣхъ превосходныхъ страницъ, гдѣ великій мыслитель то рисуетъ широкими чертами полную картину круговорота вещества и энергіи во вселенной; то развиваетъ космологическую гипотезу Канта и Лапласа въ связи съ принципомъ энергіи,—расчисляя убыль энергіи солнца и изыскивая возможные источники ея пополненія; то проникаетъ со своимъ анализомъ въ глубь психическаго міра, стараясь уловить первыя основы логическаго мышленія и эстетическаго чувства. Мы отказались отъ многихъ сторонъ этой болѣе широкой темы,—чтобы

не затуманилась, въ бѣгломъ изложеніи, граница между тѣмъ, что прочно добыто, и тѣмъ, что существуетъ лишь въ догадкѣ.

Одну изъ характерныхъ страницъ нашего автора я позволю себѣ прочесть въ заключеніе, тѣмъ болѣе, что она мало кому извѣстна, такъ какъ не вошла въ собраніе его рѣчей и лекцій. Пусть еще разъ промелькнутъ передъ нами нѣкоторые изъ главныхъ мотивовъ Гельмгольцава творенія,—излюбленный кругъ идей и образовъ, которые встрѣчались намъ въ его отдѣльныхъ трудахъ.

«Какъ часто сравнивали человѣческую жизнь съ пламенемъ! И между тѣмъ, даже людямъ умнымъ и образованнымъ нелегко вполне усвоить себѣ важнѣйшую сторону этого сравненія. Что пламя—эта, повидимому, спокойно сохраняющаяся ткань мало-измѣнчивой формы и состава—все вновь и вновь возсоздается изъ новыхъ паровъ горящаго масла и изъ вновь притекающаго воздуха,—что это лишь вихрь, куда втягивается новое вещество,—въ этомъ убѣждаетъ и ежедневный опытъ, и подробное научное изслѣдованіе. Но мысль, что человѣкъ именно въ этомъ отношеніи имѣетъ полнѣйшее сходство съ пламенемъ, что и здѣсь непрерывная смѣна вещества не подлежитъ сомнѣнію—кромѣ развѣ нѣкоторыхъ подчиненныхъ органовъ, едва участвующихъ въ жизненномъ процессѣ, каковы зубы и упругія волокна,—эта идея противорѣчитъ нашей привычкѣ мысленно подстилать просто неизмѣнную вещественную подкладку подо все, что сохраняется. Въ сущности же то, что сохраняется въ человѣкѣ какъ индивидуумъ,—это не плоть, изъ которой онъ состоитъ въ данное мгновеніе: на самомъ дѣлѣ и онъ не что иное какъ сохраняющаяся форма движенія, вихрь, постоянно втягивающій въ себя и выдѣляющій обратно все новое и новое вещество.

«Кромѣ пламени и вихря, физика показываетъ намъ разныя другія формы движенія, которыя, напечатлѣваясь въ веществѣ непрерывно измѣняющемся, тѣмъ не менѣе сохраняются съ соблюденіемъ тончайшихъ своихъ особенностей. Когда свѣтовая волна прошла, въ теченіе десятковъ и сотенъ лѣтъ, неизмѣримый путь въ міровомъ пространствѣ,—ея образъ колебаній измѣнился такъ мало, что, разложенная призмой, она даетъ намъ точнѣйшее свѣдѣніе о химической и физической натурѣ своего источника. Еще знаменательнѣе въ этомъ смыслѣ то поученіе, какое даетъ намъ

телефонъ,—поученіе, которое, правда, и до изобрѣтенія этого снаряда могло бы сложиться въ проникательной головѣ. Нервные раздраженія говорящаго или пѣвца порождаютъ звукъ, т.-е. упругія колебанія воздуха; они распространяются, съ точнымъ соблюденіемъ тембра, потомъ передаются—сперва магниту, затѣмъ мѣдной проволоки телефона. Въ магнитѣ они становятся быстрыми переменными магнитности, въ проволоки имъ соотвѣтствуютъ переменные токи электричества, родъ электрическихъ волнъ. А на другомъ концѣ провода электрическія колебанія превращаются опять въ магнитныя, магнитныя—опять въ упругія колебанія воздуха. Эти послѣднія поражаютъ ухо слушателя и становятся опять нервнымъ раздраженіемъ. Въ концѣ концовъ, тончайшіе оттѣнки ощущенія оратора или пѣвца переходятъ въ душу слушателя. Возбужденное движеніе сохранило всѣ особенности формы, хотя тоекратно переходило на новое вещество и при этомъ вполне измѣняло свою сущность.

«Итакъ, формы движенія могутъ сохранить свою особенность даже и тогда, когда были вынуждены переходить въ совершенно измѣненномъ видѣ на иную матерію; онѣ могутъ снова воскреснуть въ прежнемъ видѣ, какъ скоро встрѣтятъ прежнія условія. Такъ учатъ насъ даже эти сравнительно несложныя физическія явленія» ¹⁾).

Могучій вихрь, неустанно работающій надъ новымъ и новымъ матеріаломъ; яркое пламя, озарившее людямъ много сокровеннаго въ мірѣ внѣшнемъ и въ мірѣ внутреннемъ; стройный звукъ, который раздается на всю землю: такіе образы невольно предносятся воображенію, какъ эмблемы той плодотворной жизни, которой были посвящены наши бесѣды. Уже полѣвка длится, на виду у всѣхъ, эта работа, сіяетъ этотъ свѣтъ, гремитъ этотъ голосъ—и безсмертіе въ памяти людской имъ обезпечено: дѣла такого дѣятеля пребудутъ вовѣки, разрастаясь въ новыя побѣды разума надъ силами природы. Но пожелаемъ, чтобъ эта энергія еще надолго сохранилась въ той именно формѣ, въ которой она такъ дорога намъ и такъ родственна: пожелаемъ многіе годы жизни великому Гельм-

¹⁾ „Nord und Süd“, Heft 100 (Juli 1885).

гольтцу! Еще въ молодости онъ имѣлъ бы право примѣнить къ себѣ слова своего любимаго поэта:

Es kann die Spur von meinen Erdetagen
Nicht in Aeonen untergehn!

(«Въ эонахъ жизнь моя земная не можетъ кануть безъ слѣда»).

Но и послѣднія, такъ-сказать вчерашнія работы семидесятилѣтняго старца свидѣтельствуютъ, что не исчерпана его энергія. Дай Богъ, чтобъ она продлилась надолго:

Uermüdet schaff'er
Das Nützliche, Rechte,
Sei uns ein Vorbild
Jener geahneten Wesen!

(«Твори неустанно полезное, правое; будь намъ прообразомъ тѣхъ смутно чаемыхъ существъ!»)

А. Столѣтовъ.

О Г Л А В Л Е Н І Е.

Предисловіе <i>А. Г. Столтова</i>	III
Рѣчь Гельмгольца на обѣдѣ 2 ноября 1891 г.	XI
I. Біографическій очеркъ и общая характеристика. <i>А. Г. Столтова</i>	1
II. Сохраненіе энергіи. <i>Р. А. Колли</i>	13
Прибавленіе	31
III. Работы по механикѣ. <i>Н. Е. Жуковскаго</i>	37
IV. Работы по фізіологической оптикѣ. <i>А. Н. Маклакова</i>	53
V. Работы по акустикѣ. <i>А. Г. Столтова</i>	77
VI. Гельмгольтцъ какъ фізіологъ и значеніе его для психологіи. <i>Θ. П. Шереметевскаго</i>	105
VII. Работы по электричеству въ связи съ химіею. <i>А. П. Соколова</i>	129
VIII. Заключеніе. <i>А. Г. Столтова</i>	153

О П Е Ч А Т К И.

Стран. Строка. Напечатано: Слѣдуетъ:

52	12	снизу	въ секунду	въ минуту
60	16	"	она	онъ
—	15	"	затруднительною	затруднительнымъ
80	1	"	нотой и числомъ колебаній.	нотой.
93	10	сверху	слуховыми	слуховыми
98	14	"	по одному разу).	по одному разу на 25 и на 80 колебаній).
128	10	"	намъ очеркъ	нашъ очеркъ
132	1	снизу	(f')	(A)
133	1	сверху	(f)	(K)
140	5	"	28000	25000

УЧЕНЫЯ ЗАПИСКИ

ИМПЕРАТОРСКАГО МОСКОВСКАГО УНИВЕРСИТЕТА

выходятъ безсрочными выпусками, по отдѣламъ: историко-филологическому, физико-математическому, естественно-историческому, юридическому и медицинскому.

Получать можно у комиссіонеровъ Университета, книгопродавцевъ **И. И. Глазунова**, на Петровкѣ, и **А. И. Ланга**, на Кузнецкомъ мосту. Желающіе могутъ также обращаться въ **Правленіе Московскаго Университета**, причемъ пользуются уступкою 20%.

Редакціи, желающія получить „Ученыя Записки“ въ обмѣнъ на свои изданія, приглашаются обращаться съ заявленіями о томъ въ **Правленіе Московскаго Университета**.

ВЫШЛИ ИЗЪ ПЕЧАТИ И ПРОДАЮТСЯ:

Выпускъ 1-й Отдѣла Физико-Математическаго. Содержаніе: Объ интегрированіи дифференціальныхъ уравненій съ частными производными. **П. С. Назимова.**—Изъ теоріи электричества (по Кирхгоффу и Гельмгольцу). **А. П. Соколова.**

Выпускъ 2-й Отдѣла Физико-Математическаго. Содержаніе: Курсъ теоретической механики. **Ө. А. Слудскаго.**

Выпускъ 3-й Отдѣла Физико-Математическаго. Содержаніе: Курсъ теоретической механики. **Ө. А. Слудскаго.** (Окончаніе).—О гальванической поляризаціи электродовъ. **А. П. Соколова.**

Выпускъ 4-й Отдѣла Физико-Математическаго. Содержаніе: О прочности движенія. **Н. Е. Жуковскаго.**—Объ опредѣленіи блеска бѣлыхъ звѣздъ (съ таблицею чертежей). **В. К. Цераскаго.**—Изъ теоріи свѣта (по лекціямъ Кирхгоффа). **А. П. Соколова.**

Выпускъ 5-й Отдѣла Физико-Математическаго. Содержаніе: Изслѣдованіе о психрометрѣ (съ таблицею чертежей) **Н. А. Зворыкина**. Предисловіе **А. Г. Столѣтова**.—О приложеніяхъ теоріи эллиптическихъ функцій къ теоріи чиселъ. **П. С. Назимова**.

Выпускъ 6-й Отдѣла Физико-Математическаго. Содержаніе: Термодинамическая поверхность воды (по Гиббсу и фонъ-деръ-Ваальсу). (Съ 4 листами чертежей). **Д. А. Гольдгаммера**.—Кинетическая теорія газовъ въ математическомъ изложеніи. **Б. В. Станкевича**.

Выпускъ 7-й Отдѣла Физико-Математическаго. Содержаніе: Электромагнитное вращеніе плоскости поляризаціи свѣта въ хлорномъ желѣзѣ. **В. С. Щегляева**.—Изслѣдованія объ изгибаніи поверхностей. **Б. К. Млодзѣвскаго**.—Пятна на солнцѣ и ихъ движеніе. **А. А. Бѣлопольскаго**.—Лекціи по гидродинамикѣ. **Н. Е. Жуковскаго**.

Выпускъ 8-й Отдѣла Физико-Математическаго. Содержаніе: О вліяніи магнитнаго поля на физическія свойства металловъ. **Д. А. Гольдгаммера**.—Краткій историческій очеркъ развитія строительной механики. **М. И. Черепашинскаго**.—О многообразіяхъ многихъ измѣреній. **Б. К. Млодзѣвскаго**.—Основанія теоріи линейныхъ дифференціальныхъ уравненій. **В. А. Анисимова**.

Выпускъ 9-й Отдѣла Физико-Математическаго. Содержаніе: **Германъ фонъ-Гельмгольтцъ** (Публичныя лекціи, читанныя въ Императорскомъ Московскомъ Университетѣ въ пользу Гельмгольтцовскаго фонда).

Učenyja zapiski Imperatorskago Moskovskago Universiteta

Bd.: 9. 1892

Moskva 1892

H.lit.p. 332 sv,B-9/11

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11616809-1